ORTAÖĞRETİM

FEN LİSESİ

KİMYA
11

DERS KİTABI

Yazarlar

Uzm. Öğrt. Ali Birol ERTEKİN
Uzm. Öğrt. Atila KURT
Onursal DEMİRBAŞ
Sezgin ERKUŞ

DEVLET KİTAPLARI

BİRİNCİ BASKI

........................., 2019

MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI YAYINLARI ....: 7021
DERS KİTAPLARI DİZİSİ ....: 1174

Hazırlayanlar

Editör
Prof. Dr. Sibel TUNÇ

Dil Uzmanı
Feridun SAĞOL

Program Geliştirme Uzmanı
İlke SÖKMEN

Ölçme ve Değerlendirme Uzmanı
Uğur ALTUN

Rehberlik ve Gelişim Uzmanı
Onur TEKŞEN

Görsel Tasarım Uzmanları
Meryem ÖZDEMİRCİ
Seval AKSEL

Grafik Tasarım Uzmanı
Sema KARACA

ISBN 978-975-11-4953-4

Millî Eğitim Bakanlığı, Talim ve Terbiye Kurulunun 18.04.2019 gün ve 8 sayılı kararı ile ders kitabı olarak kabul edilmiş, Destek Hizmetleri Genel Müdürlüğünün 28.05.2019 gün ve 10443977 sayılı yazısı ile birinci defa 62.052 adet basılmıştır.

İSTİKLÂL MARŞI

Korkma, sönmez bu şafaklarda yüzen al sancak;
Sönmeden yurdumun üstünde tüten en son ocak.
O benim milletimin yıldızıdır, parlayacak;
O benimdir, o benim milletimindir ancak.

Çatma, kurban olayım, çehreni ey nazlı hilâl!
Kahraman ırkıma bir gül! Ne bu şiddet, bu celâl?
Sana olmaz dökülen kanlarımız sonra helâl.
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl.

Ben ezelden beridir hür yaşadım, hür yaşarım.
Hangi çılgın bana zincir vuracakmış? Şaşarım!
Kükremiş sel gibiyim, bendimi çiğner, aşarım.
Yırtarım dağları, enginlere sığmam, taşarım.

Garbın âfâkını sarmışsa çelik zırhlı duvar,
Benim iman dolu göğsüm gibi serhaddim var.
Ulusun, korkma! Nasıl böyle bir imanı boğar,
Medeniyyet dediğin tek dişi kalmış canavar?

Arkadaş, yurduma alçakları uğratma sakın;
Siper et gövdeni, dursun bu hayâsızca akın.
Doğacaktır sana va'dettiği günler Hakk'ın;
Kim bilir, belki yarın, belki yarından da yakın.

Bastığın yerleri toprak diyerek geçme, tanı:
Düşün altındaki binlerce kefensiz yatanı.
Sen şehit oğlusun, incitme, yazıktır, atanı:
Verme, dünyaları alsan da bu cennet vatanı.

Kim bu cennet vatanın uğruna olmaz ki feda?
Şüheda fışkıracak toprağı sıksan, şüheda!
Cânı, cânânı, bütün varımı alsın da Huda,
Etmesin tek vatanımdan beni dünyada cüda.

Ruhumun senden İlâhî, şudur ancak emeli:
Değmesin mabedimin göğsüne nâmahrem eli.
Bu ezanlar -ki şehadetleri dinin temeli-
Ebedî yurdumun üstünde benim inlemeli.

O zaman vecd ile bin secde eder -varsa- taşım,
Her cerîhamdan İlâhî, boşanıp kanlı yaşım,
Fışkırır ruh-ı mücerret gibi yerden na'şım;
O zaman yükselerek arşa değer belki başım.

Dalgalan sen de şafaklar gibi ey şanlı hilâl!
Olsun artık dökülen kanlarımın hepsi helâl.
Ebediyyen sana yok, ırkıma yok izmihlâl;
Hakkıdır hür yaşamış bayrağımın hürriyyet;
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl!

Mehmet Âkif Ersoy

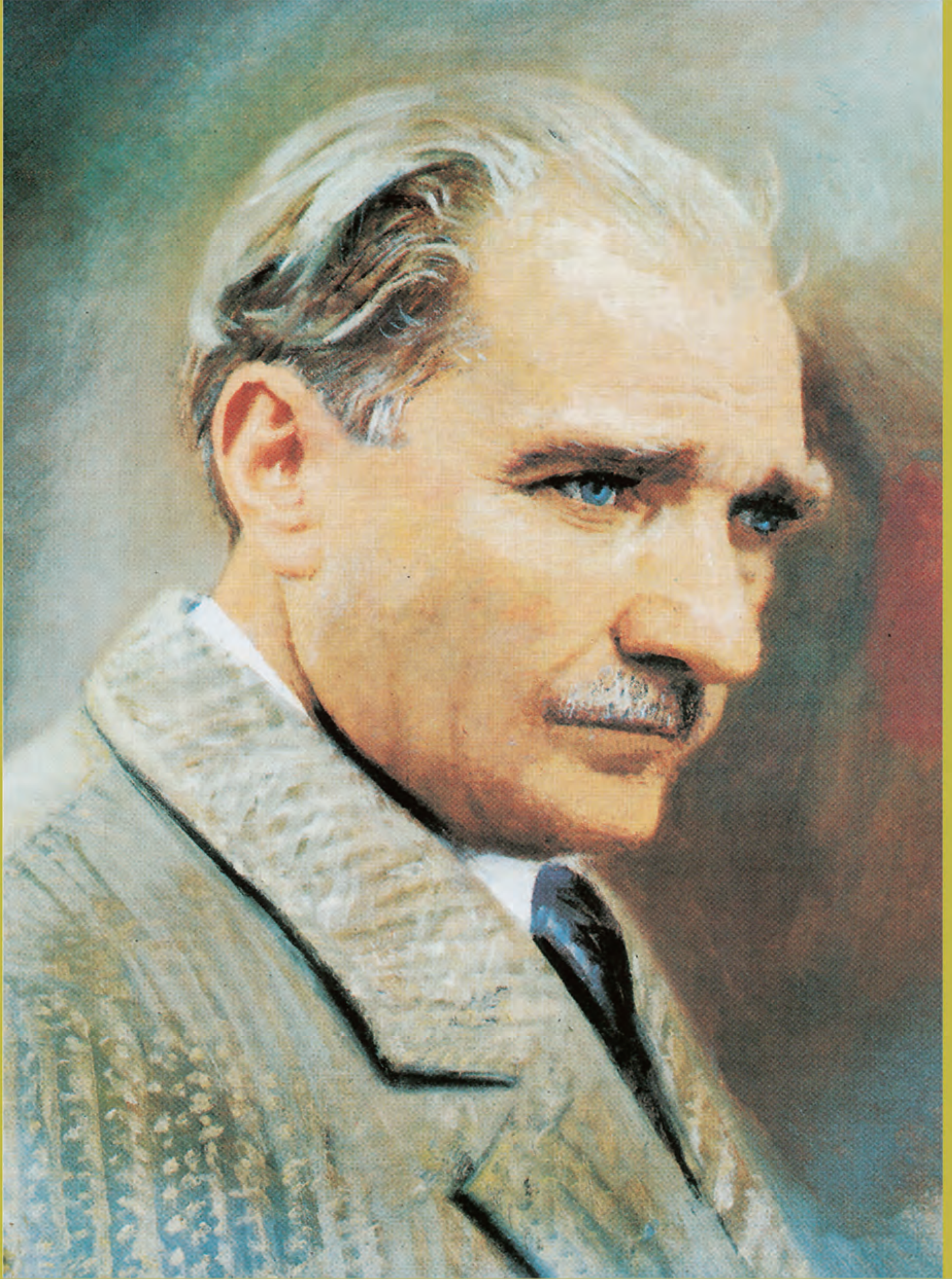
GENÇLİĞE HİTABE

Ey Türk gençliği! Birinci vazifen, Türk istiklâlini, Türk Cumhuriyetini, ilelebet muhafaza ve müdafaa etmektir.

Mevcudiyetinin ve istikbalinin yegâne temeli budur. Bu temel, senin en kıymetli hazinendir. İstikbalde dahi, seni bu hazineden mahrum etmek isteyecek dâhilî ve hâricî bedhahların olacaktır. Bir gün, istiklâl ve cumhuriyeti müdafaa mecburiyetine düşersen, vazifeye atılmak için, içinde bulunacağın vaziyetin imkân ve şeraitini düşünmeyeceksin! Bu imkân ve şerait, çok namüsait bir mahiyette tezahür edebilir. İstiklâl ve cumhuriyetine kastedecek düşmanlar, bütün dünyada emsali görülmemiş bir galibiyetin mümessili olabilirler. Cebren ve hile ile aziz vatanın bütün kaleleri zapt edilmiş, bütün tersanelerine girilmiş, bütün orduları dağıtılmış ve memleketin her köşesi bilfiil işgal edilmiş olabilir. Bütün bu şeraitten daha elîm ve daha vahim olmak üzere, memleketin dâhilinde iktidara sahip olanlar gaflet ve dalâlet ve hattâ hıyanet içinde bulunabilirler. Hattâ bu iktidar sahipleri şahsî menfaatlerini, müstevlîlerin siyasî emelleriyle tevhit edebilirler. Millet, fakr u zaruret içinde harap ve bîtap düşmüş olabilir.

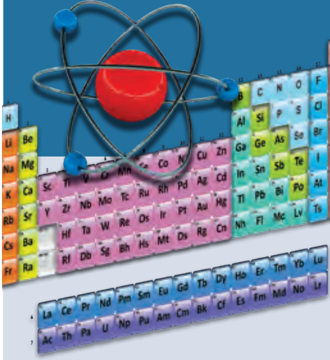
Ey Türk istikbalinin evlâdı! İşte, bu ahval ve şerait içinde dahi vazifen, Türk istiklâl ve cumhuriyetini kurtarmaktır. Muhtaç olduğun kudret, damarlarındaki asil kanda mevcuttur.

Mustafa Kemal Atatürk



MUSTAFA KEMAL ATATÜRK

1 ÜNİTE



2 ÜNİTE

3 ÜNİTE

4 ÜNİTE

5 ÜNİTE

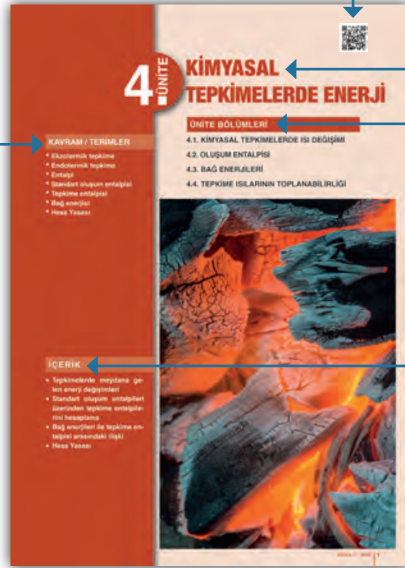
6 ÜNİTE

KİTABIN TANITIMI

Etkileşimli kitap, video, ses, animasyon, uygulama, oyun, soru vb. ilave kaynaklara ulaşabileceğiniz karekodu gösterir. Daha fazlası için http://ogmmateryal.eba.gov.tr

Ünite sayısı ve adını gösterir.

Ünitenin bölümlerini gösterir.

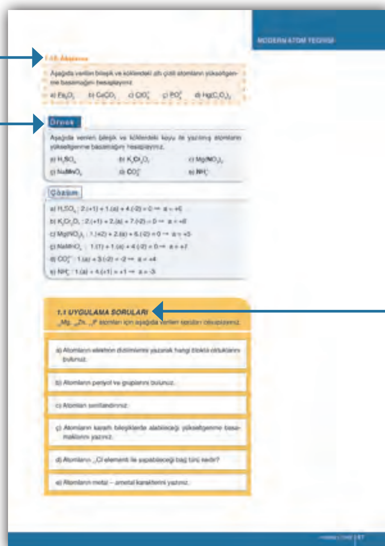


Ünitenin içinde geçen önemli kavram ve terimler

Ünitenin işlenişinden sonra hedeflenen bilgi ve beceri düzeyini ifade eder.

Her ünitenin sonunda kazanımların daha iyi öğrenilmesi için dallanmış ağaç, açık uçlu ve çoktan seçmeli sorular vardır.

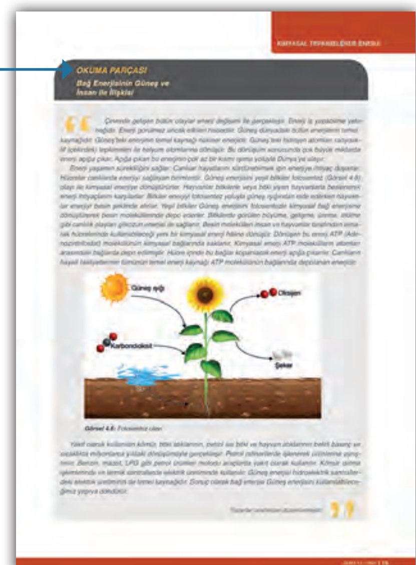
Konunun pekiştirilmesi amacıyla örnek çözümlerinden sonra alıştırmalar verilmiştir.



Konunun daha iyi kavranması için örnekler verilmiştir.

Konuların daha iyi anlaşılmasını sağlamak ve günlük hayatla ilişkisini görmek amacıyla okuma parçaları verilmiştir.

Konunun daha iyi kavranması için kazanımlara uygun sorular verilmiştir.



Öğrenmeyi desteklemek için konu ile ilgili bilgi kutuları verilmiştir.

5. BÖLÜM

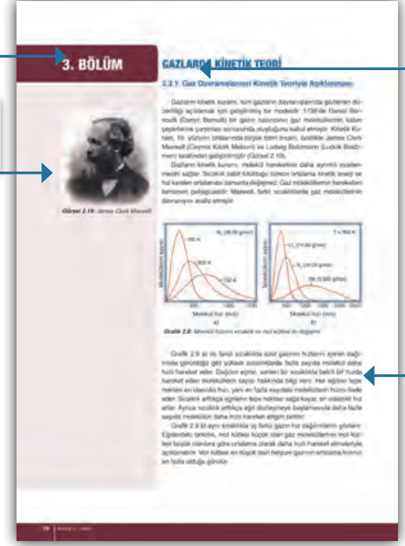
ÇÖZÜNÜRLÜĞE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Konunun daha iyi anlaşılması için grafikler verilmiştir.

Bölümlerin sayısını gösterir.

Bölümlerin adını gösterir.

Konu ile ilgili görseller verilmiştir.


3. BÖLÜM

GAZLARDA KİNETİK TEORİ

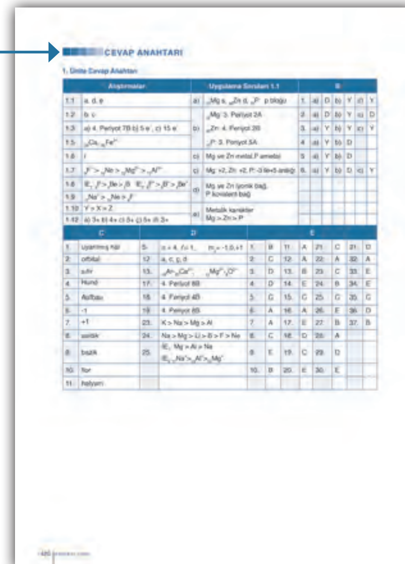
Kazanımların en iyi şekilde anlaşılması için konu anlatımları verilmiştir.

Öğrenilen konu ile ilgili bireysel ya da grup hâlinde yapılabilecek etkinlikler verilmiştir.

Etkinlik yapılırken dikkat edilmesi gereken güvenlik işaretleri verilmiştir.

Ünite kazanımları görsellerle desteklenmiştir.

Ünite sonu ölçme değerlendirme çalışmalarının cevap anahtarı verilmiştir.


CEVAP ANAHTARI

GÜVENLİK İŞARETLERİ

ISI GÜVENLİĞİ Yapılacak işlemde çok sıcak bir yüzeyin veya ısıtıcının olduğunu gösterir. El, ayak ve diğer organların yanmaması için ısıya dayanıklı eldiven kullanılmalıdır.	**ELEKTRİK GÜVENLİĞİ** Yapılacak işlemlerde elektriği şehir hattından kullanmak gerektiğini; güç kaynağı kullanırken iletken kısımlara dokunmanın tehlikeli olacağını belirtir.
GÖZ GÜVENLİĞİ Deneye başlamadan önce gözlük takmak gerektiğini belirtir. Gözlüksüz çalışılırsa göz sağlığı için zarar vericidir.	**ÇEVREYE ZARARLI (EKOTOKSİK)** Su ve doğadaki canlılara zarar vericidir. Su ve doğaya kontrolsüz atılmamalıdır.
ELBİSE GÜVENLİĞİ Laboratuvar deneylerinde kullanılan malzemelerin elbiselere sıçrayan aşındırıcı etkisinden korunmak için önlük veya tulum kullanılmasının uygun olacağını gösterir.	**KOROZİF (AŞINDIRICI)** Metalleri ve canlı dokuları aşındırabilen maddelerdir. Deriye ve göze hasar verirler. Göz ve deriyi korumak için önlemler alınmalıdır.
YANICI MADDE Yanıcı ve parlayıcıdır. Alevlenme noktası 0 °C'nin altında ve kaynama noktası 35 °C'ye kadar olan sıvılar için kullanılır. Isıtıldığında yangına neden olabilir.	**TOKSİK (ZEHİRLİ)** Ağız, deri ve solunum yolu ile zehirlenmelere neden olur. Kanserojen etki yapabilir. Vücut ile temas ettirilmemelidir. Zehirlenme belirtileri görüldüğünde tıbbi yardım alınmalıdır.
KESİCİ/DELİCİ CİSİM GÜVENLİĞİ Yapılacak işlemlerde kesici/delici gereçlerin kullanıldığını ve işlemler sırasında yaralanmalara yol açabileceğini belirtir.	**RADYOAKTİF** Radyasyona neden olur. Canlı dokularına kalıcı hasar verecek kanserojen etki yapar. Bu işaretin bulunduğu yerlerden uzak durulmalıdır.
SICAK CİSİM GÜVENLİĞİ Yapılacak işlemde bir ısıtıcı ya da sıcak bir yüzeyin olduğunu gösterir. El, ayak ve diğer organların yanmaması için özen gösterilmelidir.	**OKSİTLEYİCİ, YAKICI MADDE** Havasız ortamda bile yanabilirler. Yanabilen maddelerle karıştırılırsa patlayabilir. Tutuşturucularla teması önlenmelidir.
KIRILABİLİR CAM GÜVENLİĞİ Cam malzemelerin kırılabileceğini gösterir. Cam malzemelerin aşırı ısıtılmaması ve ani sıcaklık değişimlerine maruz kalmaması sağlanmalıdır.	**PATLAYICI** Kıvılcım, ısınma, alev, vurma, çarpma ve sürtünmeye maruz kaldığında patlayabilir. Ateş, kıvılcım ve ısıdan uzak tutulmalıdır.
YANGIN GÜVENLİĞİ Yapılacak işlemlerde yangın çıkmaması için gerekli önlemlerin alınması gerektiğini ifade eder.	**TAHRİŞ EDİCİ** Alerjik deri reaksiyonlarına neden olur. Ozon tabakasına zarar verebilir. Vücuda ve göze temasından kaçınılmalıdır. Koruyucu giysi giyilmelidir.

1 ÜNİTE MODERN ATOM TEORİSİ

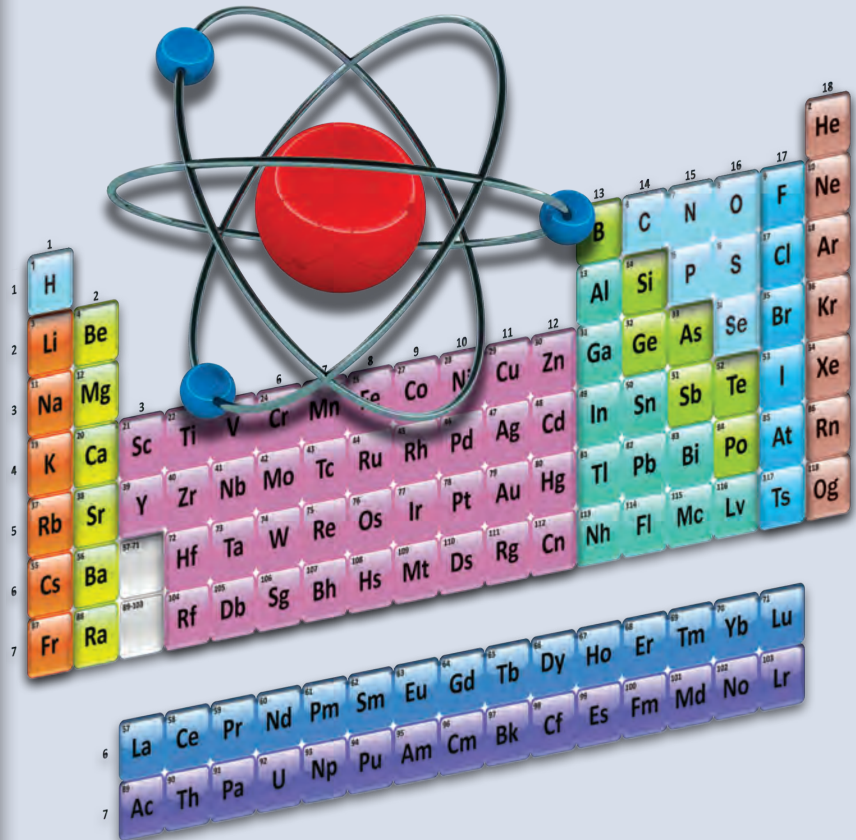
ÜNİTE BÖLÜMLERİ

ANAHTAR KAVRAMLAR

- Atom
- Atom modeli
- Aufbau Prensibi
- Değerlik elektronu
- Değerlik orbitali
- Elektronegatiflik
- Elektron dizilimi
- Elektron ilgisi
- Enerji düzeyi (Katman)
- Hund Kuralı
- İyonlaşma enerjisi
- Kuantum sayıları
- Küresel simetri
- Orbital (Dalga fonksiyonu)
- Pauli İlkesi
- Periyodik sistem
- Teori
- Yörünge
- Yükseltgenme basamağı

İÇERİK

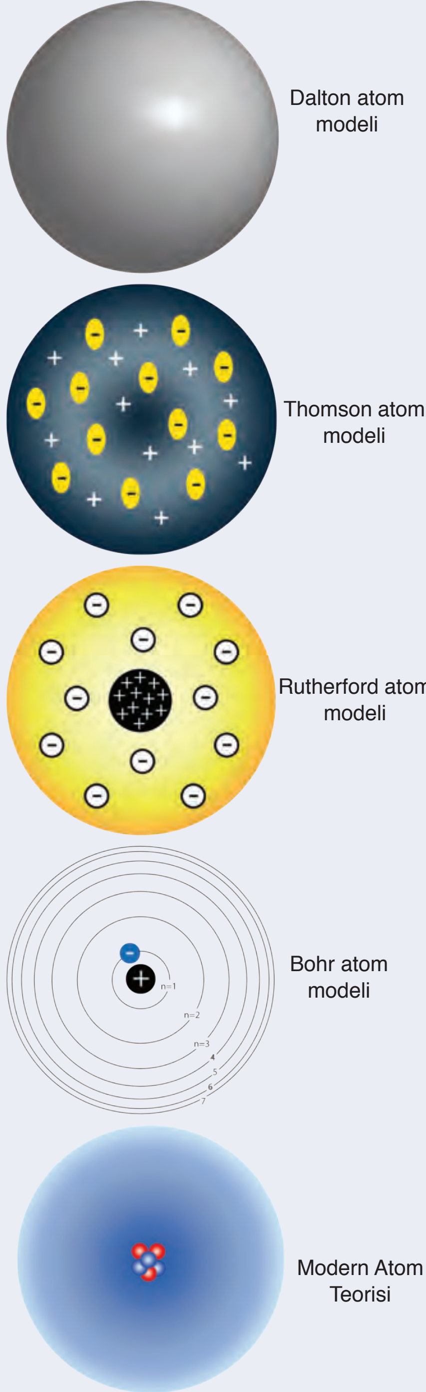
- Atomun kuantum modeliyle açıklanması
- Nötr atomların elektron dizilimleriyle periyodik sistemdeki yerleri arasındaki ilişki
- Periyodik özelliklerdeki değişim eğilimlerinin sebepleriyle açıklanması
- Elementlerin periyodik sistemdeki konumu ile özellikleri arasındaki ilişki
- Yükseltgenme basamakları ile elektron dizilimleri arasındaki ilişki



1. BÖLÜM

ATOMUN KUANTUM MODELİ

- *Atomun kuantum modeline niçin ihtiyaç duyulmuştur?*
- *Atomun kuantum modeli hangi bilimsel çalışma sonuçlarından ortaya çıkmıştır?*
- *Modern Atom Teorisi'ne göre atomların elektron dizilimleri nasıl yapılır?*



***Görsel 1.1:** Atom modelinin gelişim süreci*

1.1.1. Atomun Kuantum Modeliyle Açıklanması

Atom kavramı MÖ 5. yüzyıla dayanmaktadır. Atom için tasarlanan ilk model Dalton atom modelidir. Atom ile ilgili oluşturulan modellerde (Görsel 1.1) ifade edilen genel bilgiler aşağıda belirtilmiştir.

Dalton atom modeli: Atomlar içi dolu kürelerdir.

Thomson atom modeli: Atom içerisinde (+) ve (-) yükler homojen olarak dağılmıştır.

Rutherford atom modeli: Alfa tanecikleri deneyi ile atom çekirdeği keşfedilmiş ve çekirdeğin atomun merkezinde küçük bir hacimde toplandığı belirtilmiştir. Ayrıca atomun büyük bir kısmının boşluktan oluştuğu ve bu boşlukta elektronların yer aldığı ifade edilmiştir.

Bohr atom modeli: Elektronların çekirdek etrafında belirli yarıçap ve belirli enerjili dairesel yörüngelerde yer aldığı ifade edilmiştir.

Bu modellerin açıklayamadığı elektron gibi küçük parçacıkların davranışlarını Kuantum Kuramı açıklamaya çalışmış ve böylece Modern Atom Teorisi oluşturulmuştur.

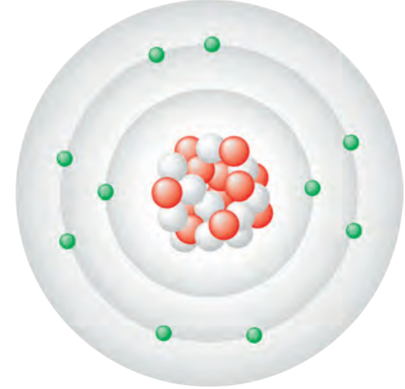
Büyük cisimler için kesinlikle geçerli olan klasik mekanik kuramlar elektron gibi küçük cisimlerin davranışlarını açıklamada yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle atom yapısının yeni bir yaklaşımla açıklanması zorunlu hâle gelmiştir. Max Planck (Maks Plank), cisimlerin yaydıkları ışıma ile dalga boyu arasındaki ilişkiyi açıklamak için kuantum kuramını öne sürmüştür. Planck'ın Kuantum Kuramı bilimde köklü bir değişikliğe yol açmıştır.

Kuantum Kuramı'nın gelişmesinde Louis de Broglie (Lui dö Birojli) ve Werner Heisenberg'in (Vernır Hayzınberg) katkıları çok büyüktür. De Broglie, elektronun hem parçacık hem de dalga özelliğine sahip olduğunu önererek dalga-tanecik ikiliğini geliştirmiştir. Heisenberg ise elektron gibi küçük taneciklerin aynı anda hızının ve konumunun belli olamayacağını belirtmiştir. Böylece Heisenberg elektronun çekirdek etrafında belirli yarıçaplı yörüngelerde dolandığı ifadesini çürütmüştür.

Kuantum Kuramı'ndaki gelişmeler, elektronların, atomların ve moleküllerin enerjilerini ve davranışlarını açıklayan Schrödinger (Şirödinger) dalga denklemi ile zirveye ulaşmıştır. Schrödinger denklemi hidrojen atomundaki elektronun enerji paketlerine ve atom orbitali adı verilen bir seri dalga fonksiyonlarına sahip olduğunu gösterir. Kuantum sayılarından yola çıkarak adlandırılan atom orbitalleri bir elektronun bulunma olasılığının yüksek olduğu bölgeleri gösterir. Hidrojen atomu için elde edilen bu sonuçlar, bazı küçük değişiklikler yapılarak daha karmaşık atomlara da uygulanmıştır.

a) Bohr Atom Modeli ve Modern Atom Teorisi (Bulut Modeli)

Danimarkalı fizikçi Niels Bohr (Niıls Bor), 1913 yılında Planck'ın Kuantum Kuramı'nı kullanarak hidrojen atomundaki yayınma spektrumlarını açıklayabilmek için kuramsal bir çalışma yapmıştır. Bohr, Rutherford atom modelinde pozitif yüklü çekirdek etrafında büyük boşluklarda bulunan elektronların çekirdek tarafından çekilerek çekirdeğe neden yapışmadığını açıklayabilmek için yörünge kavramını ileriye sürmüştür.

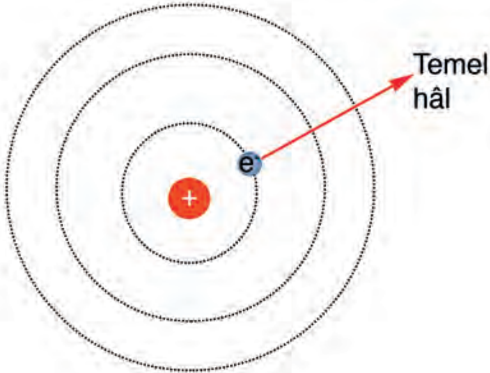


Görsel 1.2: *Bohr'un yörüngeli atom modeli*

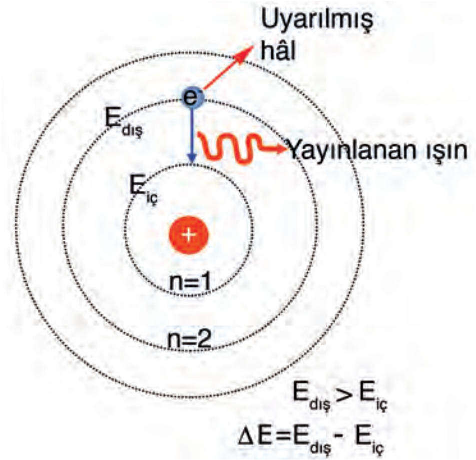
Bohr atom modeline göre

- Elektronlar çekirdekten belirli uzaklıkta ve belirli enerjiye sahip dairesel yörüngelerde hareket eder (Görsel 1.2). Bu yörüngelerin çekirdeğe olan uzaklıklarına göre belirli bir enerjisi vardır. Yörüngeler n = 1, 2, 3, 4, 5… gibi rakamlarla veya K, L, M, N, O … gibi harflerle gösterilir.

- Bir atomun elektronları en düşük enerji düzeyinde bulunmak ister. Bu düzeye **temel hâl** adı verilir (Görsel 1.3). Temel hâlde bulunan atom kararlıdır. Örneğin madde ısıtılırsa atomlardaki elektronlar daha yüksek enerji düzeylerine geçer. Bu duruma **uyarılmış hâl** denir (Görsel 1.4). Uyarılmış hâlde atom kararsızdır.



Görsel 1.3: *Temel hâl*



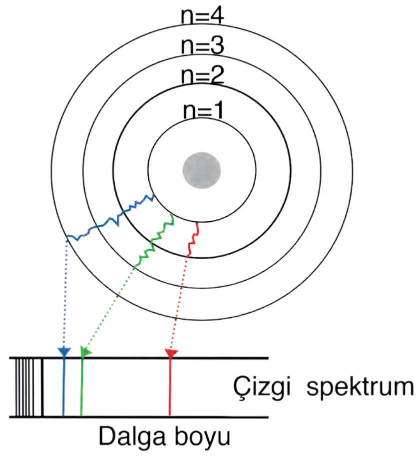
Görsel 1.4: *Uyarılmış hâl*

- Yörüngelerin enerjisi çekirdekten uzaklaştıkça artar ancak yörüngeler arasındaki enerji farkı azalır.

- Yüksek enerji düzeyinde ($E_{dış}$) bulunan bir elektron düşük enerji düzeyine ($E_{iç}$) inerse aradaki enerji farkına ($E_{dış}$-$E_{iç}$) eşit miktarda ışın (foton) yayar. Bu yayınlanan ışın, çizgi spektrumunda bir çizgiye (renge) karşılık gelir.

Bohr atom modeli; $_1H$, $_2He^+$, $_3Li^{2+}$ vb. gibi tek elektronlu atom ve iyonların çizgi spektrumlarını başarıyla açıkladığı hâlde çok elektronlu atomların çizgi spektrumlarını açıklamada yetersiz kalmıştır.

Fizikçiler, Bohr atom kuramını şaşkınlıkla karşılayıp aynı zamanda bu kurama büyük bir ilgi duymuştur. Bohr atom modeline göre elektronun bulunduğu yerler, neden çekirdeğe belirli uzaklıktaki yörüngelerle kısıtlanmıştır? On yıllık bir süre içinde bu soruya Bohr'un kendisi dâhil kimse mantıklı bir açıklama getirememiştir. Ancak 1924 yılında Fransız fizikçi Louis de Broglie elektron ve diğer küçük parçacıkların hem tanecik hem de dalga özelliğine sahip olduğunu önermiştir (dalga-tanecik ikiliği). 1926 yılında Alman fizikçi Werner Heisenberg, çok küçük olan ve süratli hareket eden elektronun hızının ve konumunun aynı anda tam olarak belirlenemeyeceğini hesaplamalarla kanıtlamıştır (Heisenberg Belirsizlik İlkesi). Böylece Heisenberg, Bohr'un elektronların belirli yarıçaplı dairesel yörüngelerde döndüğü kuramını çürütmüştür.



Görsel 1.5: *Çizgi spektrumu*

Bohr, atomların yapısının anlaşılabilmesine büyük katkıda bulunarak yörüngelerdeki elektronların enerjilerini hesaplamıştır. Ancak Bohr kuramı atomlardaki elektron davranışlarının tamamını açıklayamamıştır.

Bohr atom modeli, atom üç boyutlu olmasına rağmen elektronun çizgisel bir yörüngede olduğunu varsaymıştır. Bohr modeli, birden çok elektronlu atomlarda elektronların birbirleriyle ve çekirdekle olan etkileşimlerini dikkate almamış, elektronlar arası manyetik ve elektriksel alan etkilerini de hesaba katmamıştır. Elektron sayısı birden fazla olan atomların, iyonların yayınma (emisyon) spektrumlarını ve maddeye manyetik alan uygulandığında oluşan etkiyi açıklayamaması Bohr atom modelinin sınırlılıklarındandır. Hidrojenin ışıma spektrumu manyetik alanda incelenirse tek bir çizgi gibi görülen, bir renge ait dalga boylarının birbirine yakın alt çizgilerden oluştuğu gözlenir (Görsel 1.5). Bohr atom modeli oluşan bu alt çizgileri de açıklayamamaktadır. Bohr atom modeline göre elektronun enerjisi çekirdeğe yaklaştıkça azalırken çekirdekten uzaklaştıkça artar. Klasik fizik kurallarına göre çizgisel yörüngelerde belli bir hızla hareket eden elektronlar, çekirdeğe yaklaştıkça enerjileri azalacağı için çekirdeğe yapışmalıdır. Bohr atom modeli bu durumu da açıklayamamaktadır.

Bohr atom modeli, atomların bir araya gelerek kimyasal bağlar ile molekülleri oluşturmasını ve kararsız atom çekirdeklerinin çekirdeğe en yakın yörüngeden bir elektron yakalayarak kararlı hâle geldiği radyoaktif çekirdek olaylarını açıklayamamaktadır.

Görsel 1.6: *Erwin Schrödinger*

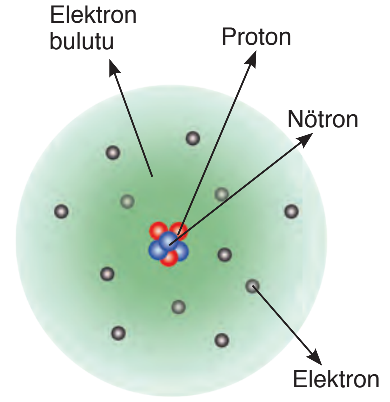
1926 yılında, karmaşık bir matematiksel teknikten yararlanan fizikçi Erwin Schrödinger (Örvin Şirödinger) (Görsel 1.6) elektronların enerjilerini ve genel davranışlarını tanımlayan bir denklem geliştirmiştir ve bir dalga mekaniği oluşturmuştur. Geliştirdiği bu denkleme **Schrödinger dalga denklemi** denir.

Schrödinger dalga denklemi, elektron için yazıldığında bir seri dalga fonksiyonuna ve elektronun bir hareketine karşılık gelir. Schrödinger bir kuvvet etkisi altında olan dalgaların nasıl oluştuğunu açıklamıştır. Bu açıklamasında tanecik yoğunluğunun, dalga fonksiyonun karesi (Ψ, psi) ile doğru orantılı olduğunu ifade etmiştir.

Fotonun yoğunluğunun en yüksek olduğu yer, fotonun bulunma ihtimalinin en yüksek olduğu yerdir. Dolayısıyla fotonun bulunma ihtimali olan yer dalga fonksiyonunun karesi ile doğru orantılı olmalıdır.

Dalga mekaniğine göre çekirdek etrafında elektronun büyük olasılıkla bulunabileceği elektron bulutu vardır. Elektron bulutları bazı bölgelerde çok yoğundur ve bu bölgelerde elektronun bulunma olasılığı yüksektir. Çekirdeğe yakın bölgelerde elektronun bulunma olasılığı artarken çekirdekten uzaklaştıkça elektronun belli bir bölgede bulunma olasılığı azalır.

Modern Atom Teorisi, Bohr atom modelindeki belirli enerji seviyesindeki yörüngeler yerine, belirli enerji seviyesindeki enerji kabukları ifadesini kullanır. Bu kabuklar alt kabuklara ayrılır, alt kabuklarda da elektronların işgal ettiği orbitaller bulunur. Modern atom modeline elektron bulut modeli de denir (Görsel 1.7).



Görsel 1.7: *Modern atom modeli (Bulut modeli)*

b) Tek Elektronlu Atomlar/ İyonlar İçin Elektronların Bulunma Olasılığı

Atomlardaki elektronların aynı anda konumu ve hızı belirli değildir. Elektronun atom etrafında konumu bilindiğinde hızı belirsiz, hızı bilindiğinde konumu belirsiz hâle gelir. Hız, enerji ile ilişkili olduğundan konum ile enerji tamamlayıcı özelliklerdir. Bu nedenle konum hakkında ne kadar çok şey bilindiğinde enerji hakkında o kadar belirsizlik olur. Elementlerin özellikleri elektronların enerjisine bağlıdır.

Elektronun konumu iyi bilinmediği, enerjisinin iyi bilindiği durumlarda elektronun konumu hakkında olasılık dağılım haritaları tanımlanır. Elektronun nerede bulunabileceğini gösteren olasılık dağılım haritaları orbitallerle ifade edilir. Çekirdek etrafında belirli enerji kabuklarında orbitaller bulunur.

Atomlardaki kabukların enerjileri çekirdekten uzaklaştıkça artarken çekirdeğe yaklaştıkça azalır. Dolayısıyla bu kabuklarda bulunan orbitallerin enerjileride çekirdekten uzaklaştıkça artar.

Atomdaki elektronlar daha düşük enerjili kabuklardaki orbitallerde bulunmak ister. $_{1}H$, $_{2}He^{+}$, $_{3}Li^{2+}$ gibi tek elektronlu atom ve iyonlarda bulunan bir elektron, temel hâlde n=1 enerji kabuğundaki en düşük enerjili orbitalde bulunur. Hidrojen atomunun bir elektronu enerji alarak uyarıldığında elektron yüksek enerjili üst kabukların birinde bulunur (n=2, 3, 4 …). Tek elektronlu atomlarda aynı kabuktaki orbitallerin enerjileri eşit olurken kabukları farklı olan orbitallerin enerjileri eşit değildir.

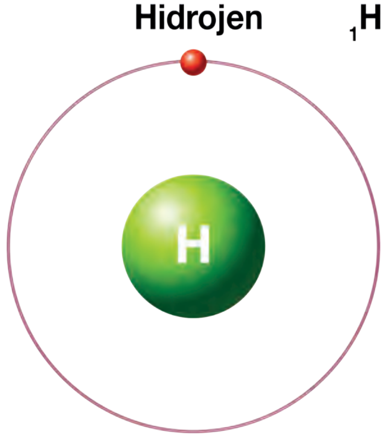
Tek elektronlu atom ve iyonlarda üst enerji kabuklarına çıkıldıkça enerji seviyeleri arasındaki fark azalır. Fakat hiçbir zaman bir üst enerji kabuğundaki orbitalin enerjisi bir alt kabuktaki orbitalin enerjisinden az olamaz. Hidrojen atomu için üçüncü enerji kabuğundaki bir orbitalin enerjisinin, ikinci enerji kabuğundaki bir orbitalin enerjisinden küçük olma durumu yoktur.

Hidrojenin temel hâldeki bir elektronu enerji alarak üst enerji kabuklarına geçer ve hidrojen atomu uyarılmış olur. Hidrojen atomunun uyarılmış hâldeki elektronu kararsızdır.

Uyarılmış hâldeki bu kararsız elektron temel hâl enerji kabuğuna geçerken enerji kabuklarının arasındaki fark kadar enerjiyi ışıma şeklinde yayar. Bu ışıma, hidrojen ışıma spektrumda bir renk çizgisine karşılık gelir.

c) Yörünge ve Orbital Kavramları

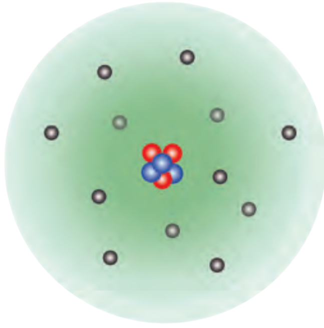
Niels Bohr, önerdiği atom modelinde sadece bir elektronlu atom ve iyonların hareketinden bahsetmiştir. Bohr atom modeli, bir elektronlu atom ve iyonlar için geçerli olmasına rağmen çok elektronlu atomların açıklanmasında yetersiz kalmıştır.



***Görsel 1.8:** Bohr atom modelinde elektronun yörüngeye yerleşimi*

Schrödinger dalga denkleminde dalga fonksiyonlarının çözümüyle atomdaki kuantum sayıları açıklanmıştır. Dalga mekaniği çok elektronlu atomları açıklamada kuantum sayılarını kullanmıştır. Bohr atom modeline göre elektronlar, çekirdekten belirli uzaklıkta yarıçapları belli olan dairesel (çizgisel) yörüngelerde dolanır. Kuantum Kuramı'nda ise elektronların belirli bir hacimde bulunma olasılığı olan yük yoğunluğundan bahsedilmiştir. Kuantum Kuramı'nda elektronların bulunma olasılığının %95 olduğu uzay bölgesi dikkate alınır. Bu bölgenin dışındaki elektron yoğunluğu ise dikkate alınmaz. Kuantum Kuramı'nda elektronların en büyük olasılıkla bulunabileceği ve en yüksek yük yoğunluğuna sahip uzay bölgesine **orbital** denir.

Bohr atom modelinde gösterilen yörüngeler, Kuantum Kuramı'nda baş kuantum sayısıyla belirtilmiştir. Kuantum modelinde çok elektronlu atomların elektronlar arası etkileşimleri ve enerji seviyeleri belirlenir. Kuantum modelinde; enerji kabukları, alt kabuklarda yer alan orbitaller, elektronların manyetik alan etkisinde yönelimleri ve elektronların kendi çevrelerinde dönme hareketleri kuantum sayılarıyla belirtilir.



***Görsel 1.9:** Kuantum modeline göre çok elektronlu bir atomdaki elektronların çekirdek etrafında yerleşimi*

Görsel 1.8 hidrojen atomu elektronunun birinci enerji seviyesinde bulunduğu çizgisel yörüngeyi göstermektedir. Hidrojen atomunun bir elektronu n=1 enerji seviyesindeki yörüngede sabit bir çizgisel hızla hareket ettiği kabul edilir. Görsel 1.9 çok elektronlu bir atomda elektronların bulunma ihtimalinin yüksek olduğu uzay bölgesi olan orbitali gösterir.

ç) Kuantum Sayıları ve Orbitaller

Dalga mekaniğinde hidrojen ve çok elektronlu atomlardaki elektron dizilimlerini açıklamak için üç kuantum sayısı gereklidir. Bu kuantum sayıları, Schrödinger denkleminin hidrojen atomu için gerçekleştirilen matematiksel çözümünden elde edilmiştir.

Dalga mekaniğinde birden çok elektron içeren bir atomda elektronlar kabuklara dağılmıştır. Kabukların bir ya da daha çok alt kabuktan alt kabukların da elektronların işgal ettiği bir veya daha çok orbitalden oluştuğu varsayılır. Atomun her elektronu kabuk, alt kabuk, orbital ve elektronu gösteren dört kuantum sayısı ile tanımlanır.

Dalga mekaniğinde orbital ve elektronun enerjisini, orbitalin şeklini, orbitalin manyetik alandaki yöneltisini gösteren üç kuantum sayısı bulunur. Bunlar baş kuantum, açısal momentum kuantum ve manyetik kuantum sayısı olarak adlandırılır.

Üç kuantum sayısından sonra bir atomdaki elektronların hareketini açıklamada dördüncü bir kuantum sayısı geliştirilmiştir. Bu kuantum sayısı spin kuantum sayısıdır. Spin kuantum sayısı belirli bir elektronun davranışını açıklar.

Baş Kuantum Sayısı

Baş kuantum sayısı "n" ile gösterilir. Baş kuantum sayısı elektronun ait olduğu kabuğu veya enerji düzeyini belirtir. Kabuklar elektronun bulunma olasılığının yüksek olduğu bölgelerdir. Baş kuantum sayısı (n), 1 veya daha büyük tam sayı değerini alır. n = 1, 2, 3, 4 … tam sayı değerleridir. Baş kuantum sayısını gösteren kabuklar K, L , M, N, O, P … gibi harflerle de gösterilir. Baş kuantum sayısı arttıkça elektronun çekirdeğe olan uzaklığı ve potansiyel enerjisi artar.

Açısal Momentum Kuantum Sayısı

Açısal momentum kuantum sayısı "ℓ" ile gösterilir. Açısal momentum kuantum sayısı orbitalin türünü ve şeklini açıklar. Açısal momentum kuantum sayısının alabileceği değerler baş kuantum sayısı n'nin değerine bağlıdır. Herhangi bir n değeri için, ℓ'nin alabileceği değerler 0 ile n-1 arasındaki tam sayılardır. ℓ = 0, 1, 2, 3 … (n-1) değerlerini alabilir.

n = 1 için ℓ = n-1'den ℓ = 1-1 = 0 değerini alır.

n = 2 için ℓ = n-1'den ℓ = 2-1 = 1 ise ℓ; 0 ve 1 değerlerini alır.

n = 3 için ℓ = n-1'den ℓ = 3-1 = 2 ise ℓ; 0, 1 ve 2 değerlerini alır.

n = 4 için ℓ = n-1'den ℓ = 4-1 = 3 ise ℓ; 0, 1, 2 ve 3 değerlerini alır.

Açısal momentum kuantum sayısı, baş kuantum enerji seviyelerinin alt enerji seviyelerine göre ayrıldığını gösterir. Bu şekilde ayrılan enerji seviyelerine **alt kabuk (ikincil katman)** denir. Alt kabuklarda s, p, d, f gibi harflerle gösterilen orbitaller bulunur.

Açısal momentum kuantum sayısı ℓ=0, s orbitalini; ℓ=1, p orbitalini; ℓ=2, d orbitalini; ℓ=3, f orbitalini temsil eder.

ℓ	0	1	2	3
Orbitalin Türü	s	p	d	f

ℓ = n-1 kuralına göre 1. kabukta s orbitali, 2. kabukta s ve p orbitalleri, 3. kabukta s, p ve d orbitalleri, 4. kabukta s, p, d ve f orbitalleri bulunur. Örneğin 2. kabuktaki 2s ve 2p orbitallerine alt kabuklar denir. Burada 2 sayısı baş kuantum sayısı (n) değerini, s ve p ise açısal momentum kuantum sayısı (ℓ) değerlerini belirtmektedir.

Manyetik Kuantum Sayısı

Manyetik kuantum sayısı "m_ℓ" ile gösterilir. Manyetik kuantum sayısı orbitalin uzaydaki yönelimini gösterir. İkincil kabukta bulunan farklı orbitaller çeşitli şekillerde bulunur. Bu orbitaller, dış manyetik alanla etkileşerek çeşitli enerji seviyelerine ayrılır. İkincil kabuktaki orbitallerden manyetik alana dik olan orbital ile etkileşim olmaz.

Bilgi Kutusu

Alt kabukların İngilizce adlarının baş harfleri ile orbitaller s, p, d, f ... sembolleri ile gösterilir

s: *Sharp (keskin)*

p: *Principal (asıl baş)*

d: *Diffuse (yayılmış)*

f: *Fundamental (temel)*

Enerji seviyesi değişmez, $m_\ell = 0$ olur. Diğer orbitaller, dış manyetik alanla yaptıkları açılara bağlı olarak enerji seviyelerini yükseltici ya da düşürücü yönde olabilir. Enerji seviyelerini yükseltici yönde olanlar (+), enerji seviyelerini düşürücü yönde olanlar (-) işareti ile gösterilir (Görsel 1.10).

Bir alt kabuk için m_ℓ'nin alabileceği değerler, açısal momentum kuantum sayısı ℓ'nin değerine bağlıdır. Verilen bir ℓ değeri için m_ℓ değeri toplam $(2\ell+1)$ kadar m_ℓ değeri alır. Bu m_ℓ değerleri orbital sayısı kadar değer alır (Tablo 1.1).

Bu değerler

$-\ell, (-\ell+1), \ldots, 0, \ldots, (+\ell-1), +\ell$'dir.

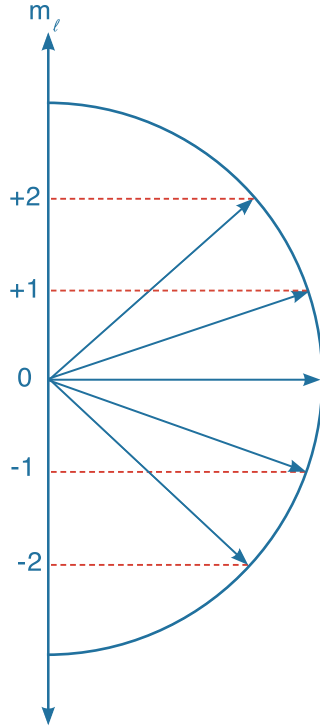
Bir başka ifade ile manyetik kuantum sayısı (m_ℓ); $-\ell$ ile $+\ell$ arası değer alır.

$\ell = 0$ olduğunda $(2\ell+1)$ formülünden $[(2.0) + 1] = 1$ tane s orbitali vardır. Bu orbital $m_\ell = 0$ değerini alır.

$\ell = 1$ olduğunda $(2\ell+1)$ formülünden $[(2.1) + 1] = 3$ tane p orbitali

(P_x, P_y, P_z) vardır. Bu orbitaller $m_\ell = -1, 0, +1$ değerlerini alır.

$\ell = 2$ olduğunda $(2\ell+1)$ formülünden $[(2.2) + 1] = 5$ tane d orbitali ($d_{x^2-y^2}$, d_{z^2}, d_{xy}, d_{xz}, d_{yz}) vardır. Bu orbitaller $m_\ell = -2, -1, 0, +1, +2$ değerlerini alır.



***Görsel 1.10:** d orbitallerinin manyetik alandaki yöneltileri*

***Tablo 1.1:** Kuantum Sayıları ile Orbital İlişkisi*

n	ℓ	m_ℓ	Orbital Türü	Orbital Sayısı
1	0	0	1s	1
2	0	0	2s	1
2	1	-1, 0, +1	2p	3
3	0	0	3s	1
3	1	-1, 0, +1	3p	3
3	2	-2, -1, 0, +1, +2	3d	5
4	0	0	4s	1
4	1	-1, 0, +1	4p	3
4	2	-2, -1, 0, +1, +2	4d	5
4	3	-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3	4f	7

Bilgi Kutusu

Paul Adrien Maurice Dirac (Pol Edriyın Mouris Dayrıak), elektronların çekirdek çevresindeki dönme hareketi dışında kendi eksenleri etrafında döndüklerini varsaymıştır. Bu durumda elektron, yüklü parçacık olduğuna göre dönmeden dolayı açısal ve manyetik momentuma sahiptir.

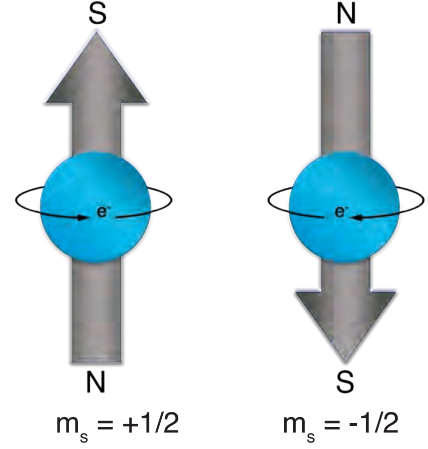
Spin Kuantum Sayısı

Spin kuantum sayısı, "m_s" ile gösterilir. Spin kuantum sayısı, elektronun dönme yönünü belirtir. Temel hâlde çok elektronlu atomların elektron dizilişleri, deneysel olarak spektroskopi ile belirlenir.

Hidrojen ve sodyum atomlarının yayınma spektrumlarına yönelik yapılan deneyler, dış bir manyetik alan uygulandığında spektrum çizgilerinin yarıldıklarını göstermiştir. Bilim insanları bu olayı ancak elektronları minik birer mıknatıs gibi varsayarak açıklayabilmişlerdir. Elektronların da Dünya gibi kendi ekseni etrafında döndüğü düşünülürse manyetik özelliklerinin nedeni daha iyi anlaşılabilir. Elektromanyetik kurama göre dönen yüklü bir tanecik bir manyetik alan oluşturur. Dolayısıyla hareketli elektronun bir mıknatıs gibi davranmasına neden olur. Elektronlar (-) yüklü taneciklerdir. Bu yüklü taneciklerin saat yönünde +1/2, saat yönünün tersi yönünde -1/2 spinle döndüğü kabul edilir. Spin kuantum sayısı (m_s); +1/2 ile -1/2 değerlerini alabilen dördüncü bir kuantum sayısı olarak tanımlanmıştır (Görsel 1.11).

Bir atomdaki dört kuantum sayısı sırasıyla (n, ℓ, m_ℓ, m_s) şeklinde gösterilir.

Örneğin (2, 1, +1, +1/2) kuantum sayıları n = 2, ℓ = 1, m_ℓ = +1, m_s = +1/2'yi belirtir. Yani bu kuantum sayıları 2p orbitalinde manyetik kuantum sayısı +1 olan, saat yönünde dönen bir elektronu ifade eder.



Görsel 1.11: *Elektronların spin hareketi*

Örnek

3s orbitalinde orbitali ve bir elektronu temsil eden kuantum sayılarını yazınız.

Çözüm

Kuantum sayıları n = 3 , ℓ= 0, m_ℓ= 0, m_s= +1/2 veya -1/2 şeklindedir.

Örnek

4d orbitalinde orbitali ve bir elektronu temsil eden kuantum sayılarını yazınız.

Çözüm

n = 4 , ℓ= 2, m_ℓ= -2, -1, 0, +1, +2 , m_s= +1/2 veya -1/2 şeklindedir.

Örnek

Aşağıda verilen kuantum sayılarına (n, ℓ, m_ℓ, m_s) ait dizilerden hangilerinin mümkün olabileceğini belirtiniz.

a) 2, 1, 0, 0
b) 3, 0, +1, -1/2
c) 1, 1, 0, +1/2
ç) 4, 2, 0, -1/2

Çözüm

a) m_s değeri 0 olamaz.
b) ℓ= 0 değeri için m_ℓ değeri +1 olamaz.
c) n = 1 için ℓ= 1 olamaz.
ç) n = 4 , ℓ= 2, m_ℓ= 0, m_s= -1/2 olabilir.

1.1. Alıştırma

Kuantum Kuramı'na göre, aşağıda baş kuantum sayısı verilen orbital türlerinden hangileri olabilir?

a) 2s   b) 3f   c) 1p   ç) 2d   d) 4d   e) 4f

1.2. Alıştırma

Aşağıda verilen kuantum sayıları (n, ℓ, m_ℓ, m_s) dizilerinden yanlış olanları belirleyiniz ve neden yanlış olduğunu açıklayınız.

a) 2, -1, -1, +1/2   b) 3, 1, +1, -1/2   c) 1, 0, 0, +1/2

ç) 2, 2, +1, -1/2   d) 3, 2, -2, 0

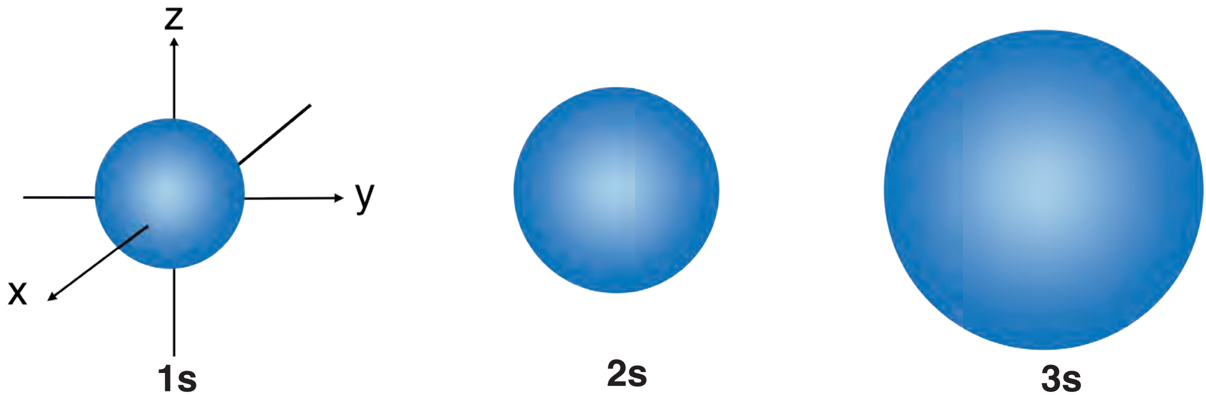
Orbital Çeşitleri

Atomik orbitallerin özellikleri incelenirken karşılaşılan en önemli sorun "Orbitallerin şekilleri nasıldır?" sorusudur. Orbitaller tam olarak tanımlanabilmiş şekillere sahip değildir. Shcrödinger'e göre bunun sebebi orbital özelliğini gösteren dalga fonksiyonun atom çekirdeğinden itibaren sonsuza kadar uzanmasıdır. Bu nedenle bir orbitalin neye benzediğinin tam olarak ifadesi zordur. Özellikle atomlar arasındaki kimyasal bağ oluşumlarını açıklamak için orbitallerin belirli şekillere sahip oldukları varsayılmıştır. Bilinen 118 element için kullanılan 4 çeşit orbital (s, p, d, f) yeterlidir. Bu orbitallerin şekilleri aşağıda belirtilmiştir.

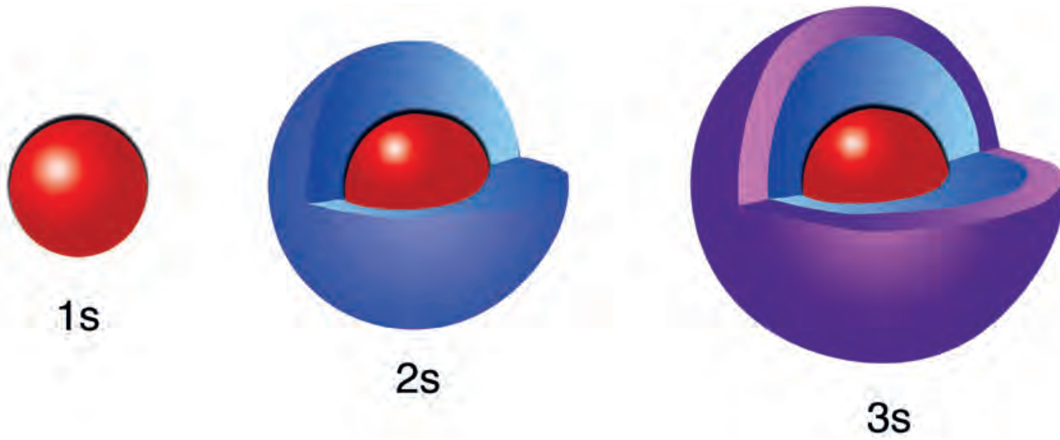
***Grafik 1.1:** 1s orbitalindeki elektronun çekirdekten uzaklığa göre bulunma olasılığı*

s Orbitalleri

s orbitalleri atom çekirdeğinin çevresinde küresel yapıda bulunan uzay bölgesidir. s orbitalleri küresel oldukları için simetrileri yoktur. Manyetik alana dik olduklarından manyetik alanla etkileşmez. Bu nedenle s orbitallerinin manyetik kuantum sayısı m_ℓ = 0'dır. Çekirdekten uzaklaştıkça elektron yoğunluğu azalır. 1 A° yarıçaplı bir kürede elektronun çekirdek etrafında bulunma olasılığı en yüksektir (Grafik 1.1). Bu nedenle s orbitalleri küresel şekildedir. s orbitallerinin şekilleri bütün enerji seviyelerinde aynı olmasına rağmen büyüklükleri ve enerjileri baş kuantum sayısı arttıkça artar (Görsel 1.12 ve Görsel 1.13). Orbitallerin büyüklüğü baş kuantum sayısının karesi ile doğru orantılıdır. s orbitalleri, birinci enerji seviyesinden başlayarak her enerji seviyesinde birer adet bulunur.



***Görsel 1.12:** s orbitallerinin elektron yoğunluğu ve sınır yüzey diyagramları*

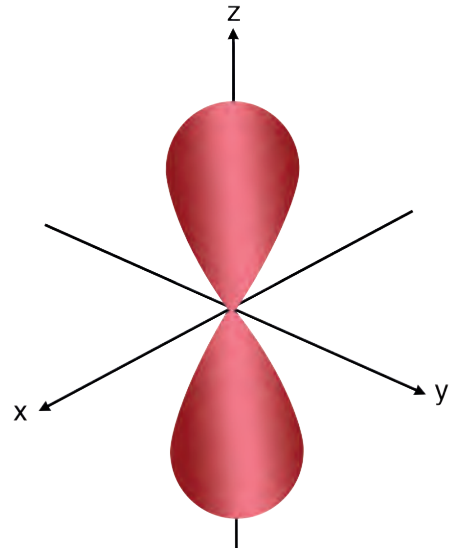


Görsel 1.13: *s orbitallerinin elektron yoğunluğunun üç boyutlu gösterimi. Kürelerden her biri elektron yoğunluğunun yaklaşık %95'idir.*

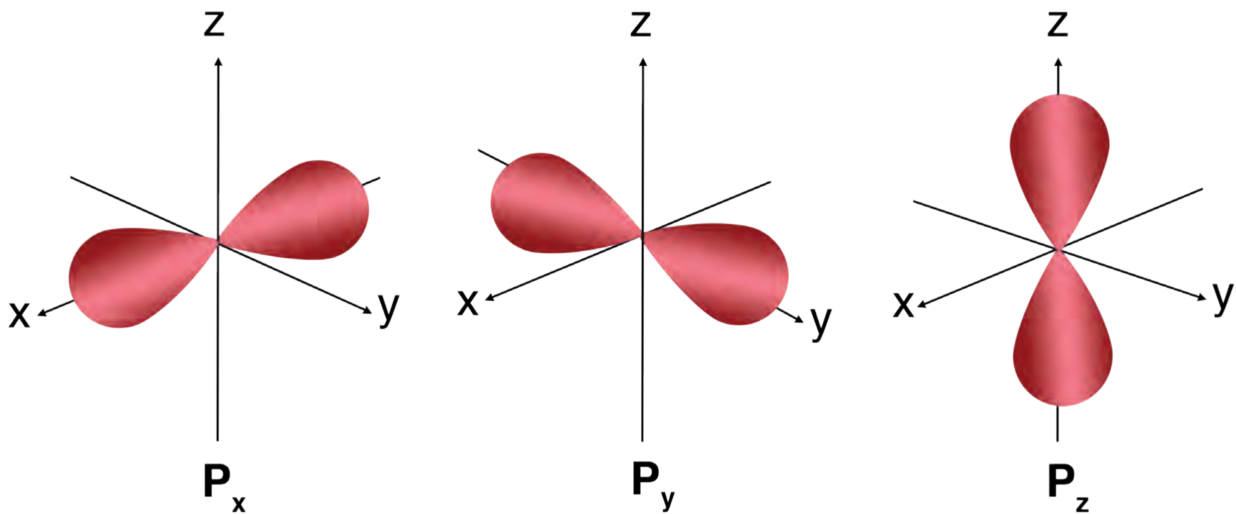
p Orbitalleri

Elektronların s orbitalinde bulunma olasılığı açısal koordinatlara bağlı olmayıp elektronun çekirdeğe olan uzaklığına bağlıdır. p orbitallerindeki durum s orbitallerinkinden farklıdır. s orbitallerinin simetrisi olmadığı hâlde p orbitallerinde çekirdeğin merkezinden geçen bir simetri ekseni bulunur (Görsel 1.14). p orbitalleri n=2 baş kuantum sayısı ile başlar. n=1 kuantum sayısı için açısal momentum kuantum sayısı ℓ= 0 olacağından n=1 enerji seviyesinde yalnızca 1s orbitali bulunur. n=2 baş kuantum sayısı için ℓ=1 olduğunda manyetik kuantum sayısı (m_ℓ) -1, 0, +1 değerlerini alır. Bu durumda $2p_x$, $2p_y$ ve $2p_z$ olmak üzere üç tane p orbitali ortaya çıkar (Görsel 1.15). p orbitalleri üç boyutlu uzayda eksenleri birbirine dik olacak şekilde iki loblu olarak bulunur. p orbitallerinin yöneldiği eksenler (x, y, z) alt indis olarak gösterilir.

p orbitallerinin aynı alt kabukta enerjileri, büyüklükleri ve şekilleri özdeş olmasına rağmen manyetik alan etkisinde yönelişi farklıdır. s orbitallerinde olduğu gibi p orbitallerinin büyüklükleri ve enerjileri 2p'den 3p'ye, 4p'ye vb. baş kuantum sayısı ile birlikte artar.



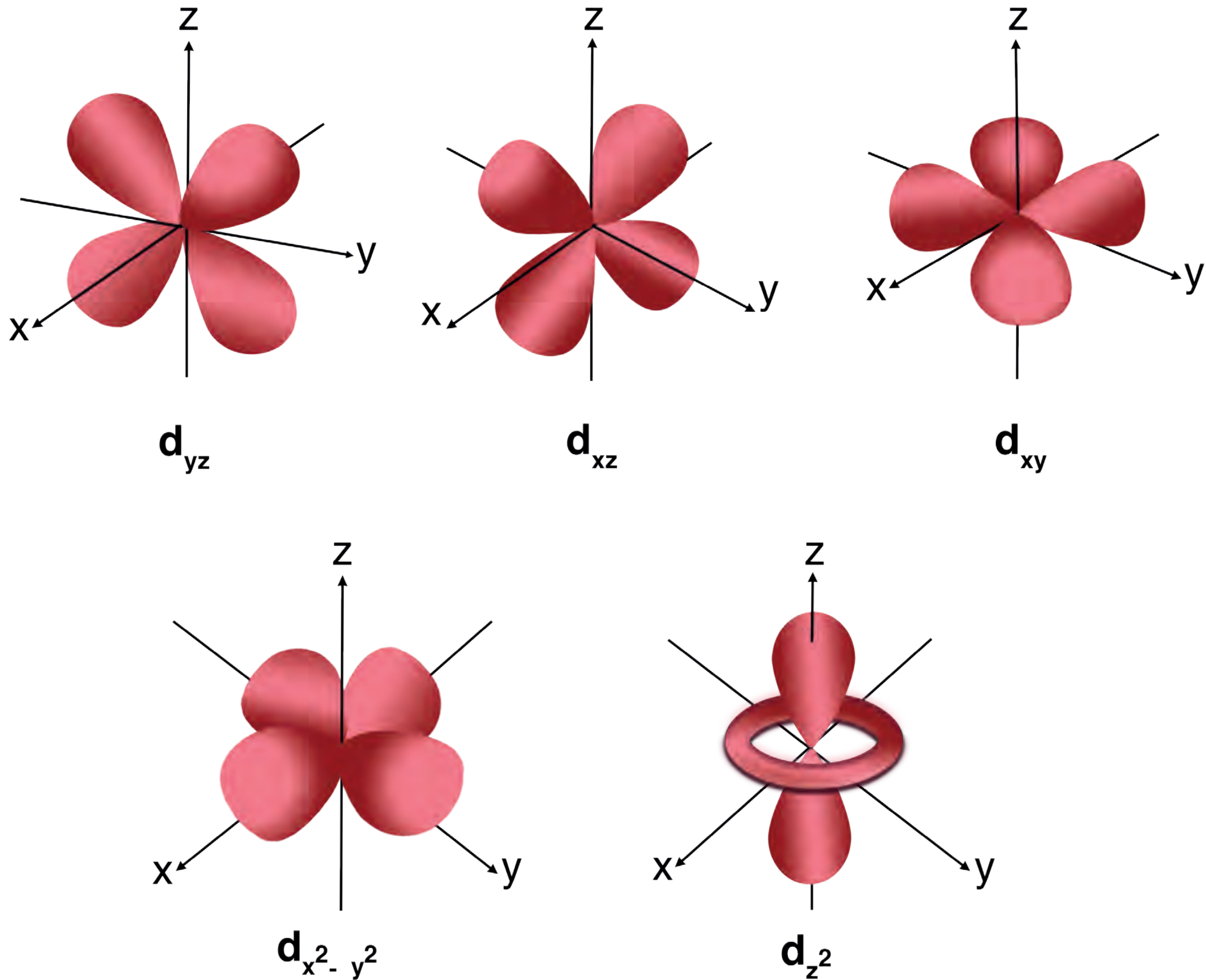
Görsel 1.14: *p orbitali*



Görsel 1.15: *p orbitallerinin elektron yoğunluğu ve sınır yüzey diyagramları*

d Orbitalleri

d orbitalleri birinci ve ikinci enerji seviyesinde bulunmaz. d orbitalleri n = 3 enerji seviyesi ile başlar ve açısal momentum kuantum sayısı ℓ= 2, manyetik kuantum sayısı m_ℓ = -2, -1, 0, +1, +2 olan beş tane d orbitali bulunur. Bu d orbitalleri d_{z^2}, $d_{x^2-y^2}$, d_{xy}, d_{xz}, d_{yz} şeklindedir (Görsel 1.16). d orbitallerinin aynı alt kabukta enerjileri aynı olmasına rağmen manyetik alan uygulandığında manyetik kuantum sayısı m_ℓ'ye bağlı olarak yöneltileri farklıdır. d orbitalleri manyetik alan uygulandığında iki tanesi koordinat ekseninde (d_{z^2}, $d_{x^2-y^2}$), üç tanesi simetri ekseninde (d_{xy}, d_{xz}, d_{yz}) bulunur. d orbitallerinin büyüklükleri ve enerjileri baş kuantum sayısı ile birlikte artar.



***Görsel 1.16:** d orbitallerinin elektron yoğunluğu ve sınır yüzey diyagramları*

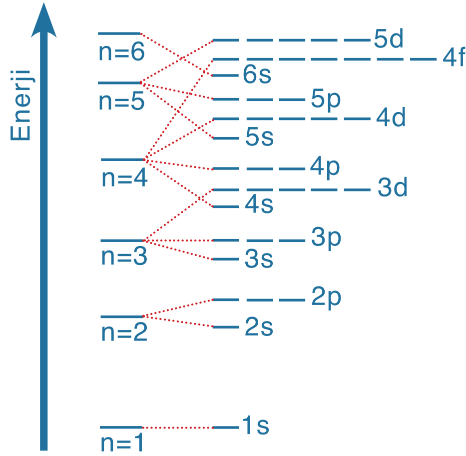
f Orbitalleri

f orbitalleri ilk üç enerji seviyesinde bulunmaz. f orbitalleri n=4 enerji seviyesi ile başlar ve açısal momentum kuantum sayısı ℓ = 3, manyetik kuantum sayısı m_ℓ= -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3 olan yedi tane f orbitali bulunur.

d orbitallerinden daha yüksek enerjiye sahip f orbitalleri atom numaraları 57'den büyük elementlerin davranışlarını açıklamak için çok önemlidir. Fakat f orbitallerinin sınır yüzey diyagramlarının çizimleri çok karmaşık olduğundan bu orbitallerin şekillerine yer verilmeyecektir.

d) Çok Elektronlu Atomlarda Orbitallerin Enerjileri

Tek elektronlu atom ve iyonlarda elektronun enerjisi sadece baş kuantum sayısına göre değişir. Tek elektronlu hidrojen atomunda aynı enerji seviyesindeki orbitallerin enerjileri aynıdır. Çok elektronlu atomlarda bir orbitalin enerjisi baş kuantum sayısı (n) ve açısal momentum kuantum sayısına (ℓ) bağlı olarak değişir. Grafik 1.2'de çok elektronlu atomlarda katman ve alt katmanların enerji düzeyleri gösterilmiştir.



Grafik 1.2: *Çok elektronlu bir atomda katman ve alt katmanların enerji düzeyleri*

Bilgi Kutusu

Tek elektronlu hidrojen atomu için orbitallerin enerjileri $1s < 2s = 2p < 3s = 3p = 3d < 4s = 4p = 4d = 4f < ....$ şeklindedir.

Grafik 1.2'deki çok elektronlu atomda katman ve alt katmanların enerji düzeyleri ve bu katmanlara elektron yerleşimi aşağıdaki gibidir.

- Alt katmanların enerji düzeyleri kısa bir çizgi ile gösterilmiştir. Bu enerji düzeyleri atomların temel hâllerinde aynı enerjiye sahiptir.

- Katmanların enerjileri baş kuantum sayısının (n) artmasıyla artar.

- Baş kuantum sayısı arttıkça katmanlar arasındaki enerji farkı azalır. Bu nedenle üçüncü katmandan sonra alt katman enerji düzeylerinde iç içe girmeler görülür. Örneğin 4s orbitalinin enerji düzeyi 3d orbitalinden, 5s orbitalinin enerji düzeyi 4d ve 4f orbitalinden daha düşüktür.

- Çok elektronlu atomlarda elektronların enerjileri, baş kuantum sayısı ve açısal momentum kuantum sayısına bağlı olarak değişir. Atomlar, düşük enerjili durumda daha kararlı olduklarından elektronlar öncelikle düşük enerjili orbitallere yerleşir. Örneğin çok elektronlu bir atomda 4s orbitalinin baş kuantum sayısı 3d orbitalinden büyük olmasına rağmen 4s orbitalinin enerji düzeyi daha düşük olduğu için elektron diziliminde elektronlar önce 4s orbitaline yerleşir.

e) Bilişim Teknolojileri ile Orbitallerin Enerji Seviyelerinin Açıklanması

Bilişim teknolojilerinden yararlanarak (animasyon, simülasyon, video vb.) orbitallerin enerji seviyelerinin açıklamasını yapınız. İlgili görsellere Millî Eğitim Bakanlığına bağlı Eğitim Bilişim Ağı **www.eba.gov.tr** adresinden ulaşılabilir.

2. BÖLÜM

PERİYODİK SİSTEM VE ELEKTRON DİZİLİMLERİ

- *Atomlardaki elektronların orbitallere yerleşim sırası hangi kurallara göre gerçekleşir?*
- *Bir atomdaki herhangi iki elektronun bütün kuantum sayıları aynı olabilir mi?*
- *Orbitallerin enerjileri hangi kuantum sayılarına bağlıdır? Atomların elektron dizilimiyle periyodik sistemdeki yerleri nasıl bulunur?*

1.2.1. Nötr Atomların Elektron Dizilimleri ile Periyodik Sistemdeki Yerleri Arasındaki İlişki

Dört kuantum sayısı herhangi bir atomun herhangi bir orbitaldeki elektronunun tamamıyla tanımlanabilmesine imkân sağlar. Bir kişiye ait adresin cadde, şehir, ülke ve posta kodu ile belirtilmesi gibi atomlardaki dört kuantum sayısı da bir elektronun atom içindeki adresi olarak kabul edilir. Bir orbitalin enerjisi, şekli, büyüklüğü ve yönlenmesi üzerinde spin kuantum sayısının (m_s) etkisi yoktur. Farklı m_s değerleri, bir orbital içindeki elektronun nasıl yönlendiğini gösterir. Çok elektronlu bir atomda atomların elektron davranışlarını anlamak için o atoma ilişkin elektron dizilimlerinin, yani elektronların değişik atom orbitallerine ne şekilde yerleştiğinin bilinmesi gerekir. Bir atomdaki elektronların orbitallere yerleşim sırasına **elektron dizilişi** denir.

a) Atomlardaki Elektronların Orbitallere Yerleşme Kuralları

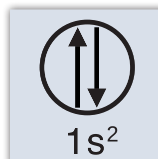
Atomlardaki elektronlar orbitallere belli kurallara göre yerleşir. Bu kurallar Pauli İlkesi, Madelung Kuralı, Aufbau Prensibi ve Hund Kuralı'dır.

Pauli İlkesi

Çok elektronlu atomların temel elektron dizilişleri deneysel olarak spektroskopi ile belirlenir. Deneysel olarak belirlenen elektron dizilişlerini açıklayabilmek için dördüncü bir kuantum sayısına ihtiyaç vardır. Yüklü bir parçacık olan elektron bir eksen çevresinde saat yönünde veya karşıt yönde dönebilir. Buna göre spin manyetik kuantum sayısı m_s +1/2 veya m_s -1/2 spinli olabilir.

1926 yılında Wolfgang Pauli (Volfgang Pauli), atomlara ait yayınma spektrumlarının karmaşık yapısını, bir atomda bütün kuantum sayıları aynı olan iki elektronun bulunamayacağını belirterek açıklamıştır. Pauli'ye göre bir atomda herhangi iki elektronun dört kuantum sayısı aynı olamaz. İki elektronun dört kuantum sayısından en az biri farklıdır.

Bir atomdaki dört kuantum sayısından n, ℓ, m_ℓ aynı olsa bile spin kuantum sayısı (m_s) farklıdır. Bu nedenle bir orbitalde zıt spinli yalnızca iki elektron bulunabilir.



Örneğin 1s orbitalindeki iki elektronun n = 1, ℓ = 0, m_ℓ = 0 aynı olmasına rağmen spin kuantum sayıları m_s = +1/2, -1/2 gibi iki farklı değer alır.

Madelung Kuralı

Orbital enerjilerinin sıralaması, Kletchkowski-Madelung kuralına göre yapılır.

Kletchkowski-Madelung (Kleçkovski-Madelung) Kuralı'na göre

- Orbitallerin enerjileri (n+ℓ) değerinin artmasıyla artar.

	1s < 2s < 3s < 4s				4s < 4p < 4d			5p < 4f		
n + ℓ =	1	2	3	4	4	5	6	6	7	

- Orbitallerin n+ℓ değerleri aynı ise n sayısı büyük olan orbitalin enerjisi daha yüksektir.

	3d < 4p < 5s			4d < 5p < 6s		
n + ℓ =	5	5	5	6	6	6

Bu iki kurala göre orbitallerin enerji sıralaması Tablo 1.2'de gösterildiği gibi yapılır.

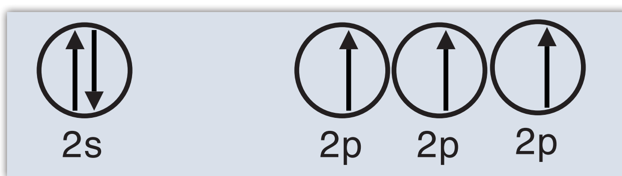
***Tablo 1.2:** Çok Elektronlu Atomlarda Orbitallerin Enerji Sıralaması*

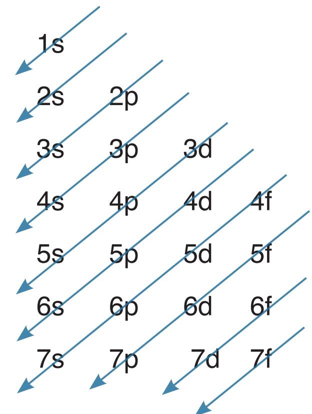
Orbitaller	1s	< 2s	< 2p	< 3s	< 3p	< 4s	< 3d	< 4p	< 5s	< 4d	< 5p	< 6s	< 4f	< 5d	< 6p	< 7s	< 5f
n	1	2	2	3	3	4	3	4	5	4	5	6	4	5	6	7	5
ℓ	0	0	1	0	1	0	2	1	0	2	1	0	3	2	1	0	3
n+ℓ	1	2	3	3	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	7	7	8

Çok elektronlu atomlarda orbitallerin enerji sıralamasını, kolaylıkla yapabilmek için Görsel 1.17'den yararlanılır.

Aufbau Prensibi

Atomların elektron diziliminde elektronlar, en düşük enerjili orbitallerden başlayarak yerleşir. Aufbau Prensibi'ne göre aynı enerji seviyesindeki alt kabuklardaki düşük enerjili orbitale elektronlar öncelikle dolar. Bu orbitaller dolduktan sonra elektronlar yüksek enerjili orbitallere birer birer yerleşmeye devam eder. Örneğin n = 2 enerji seviyesinde ℓ = 0 olan 2s ve ℓ = 1 olan 2p orbitallerinden elektronlar önce enerjisi daha düşük olan 2s orbitaline yerleşir. 2s orbitaline iki elektron yerleştikten sonra kalan elektronlar 2p orbitallerine yerleşir.





***Görsel 1.17:** Çok elektronlu atomlarda orbitallerin enerji sıralaması ve elektronların orbitallere yerleşme sırası*

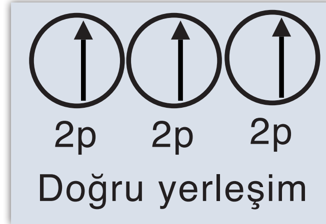
Hund Kuralı

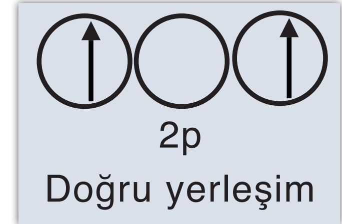
Elektronlar, aynı enerji seviyesinde alt kabuklardaki eşit enerjili orbitallere önce aynı spinle birer birer yerleşir. Sonra yarı dolu bu orbitallere zıt spinli ikinci elektronlar yerleşir. Elektronlar sahip olduğu aynı elektriksel yükten dolayı birbirini iter.

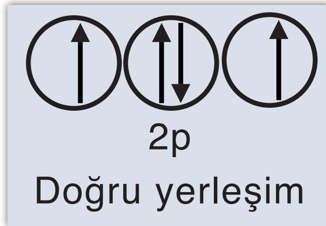
Aşağıda elektronların 2p orbitallerine Hund Kuralı'na göre doğru ve yanlış yerleşimleri gösterilmiştir.

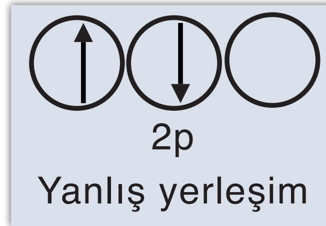
Bilgi Kutusu

Modern atom modelinde atomların temel hâl elektron dizilişi için Pauli tarafından Aufbau Kuralı önerilmiştir. Aufbau Almancada "inşa etmek" anlamına gelir.









Atomların temel hâl elektron dizilimleri ve özellikleri şu şekilde özetlenebilir.

- Pauli İlkesi'ne göre aynı atoma ait iki elektronun dört kuantum sayısının hepsi aynı olamaz.
- Her orbital en fazla iki elektron bulundurabilir. Bu elektronlar farklı spin kuantum sayısına sahip olmalıdır.
- Hund Kuralı'na göre bir alt kabukta, paralel spine sahip elektronların en fazla olduğu elektron düzeni, en kararlı elektron dizilimidir.
- Hidrojen atomundaki elektronun enerjisi sadece baş kuantum sayısına (n) bağlıdır. Çok elektronlu bir atoma ait elektronun enerjisi baş kuantum sayısının (n) yanı sıra açısal momentum kuantum sayısı ℓ'ye de bağlıdır.
- Aynı baş kuantum sayısına sahip elektronların çekirdeğe yakınlık sırası $s > p > d > f$'dir. Buna göre örneğin çok elektronlu bir atomun 3s orbitalinde bulunan elektronu koparmak için gereken enerji 3p orbitalinde bulunan elektronu koparmak için gereken enerjiden daha fazladır.
- n baş kuantum sayısı olduğuna göre her enerji seviyesinde n tane orbital türü vardır. Bir enerji seviyesinin alabileceği en fazla orbital sayısı n^2, elektron sayısı $2n^2$ formülü ile hesaplanır.
  Örneğin n = 3 enerji seviyesinde 3 tür orbital (3s, 3p, 3d); $n^2 = 3^2 = 9$ tane orbital; $2n^2 = 2.3^2 = 18$ tane elektron bulunur.
- Her enerji seviyesinde s orbitalleri 1, p orbitalleri 3, d orbitalleri 5, f orbitalleri 7 tane bulunur.
  Her orbitalin alabileceği en fazla elektron sayısı

Orbital	Orbital Sayısı	Toplam Elektron Sayısı
s	1	2
p	3	6
d	5	10
f	7	14

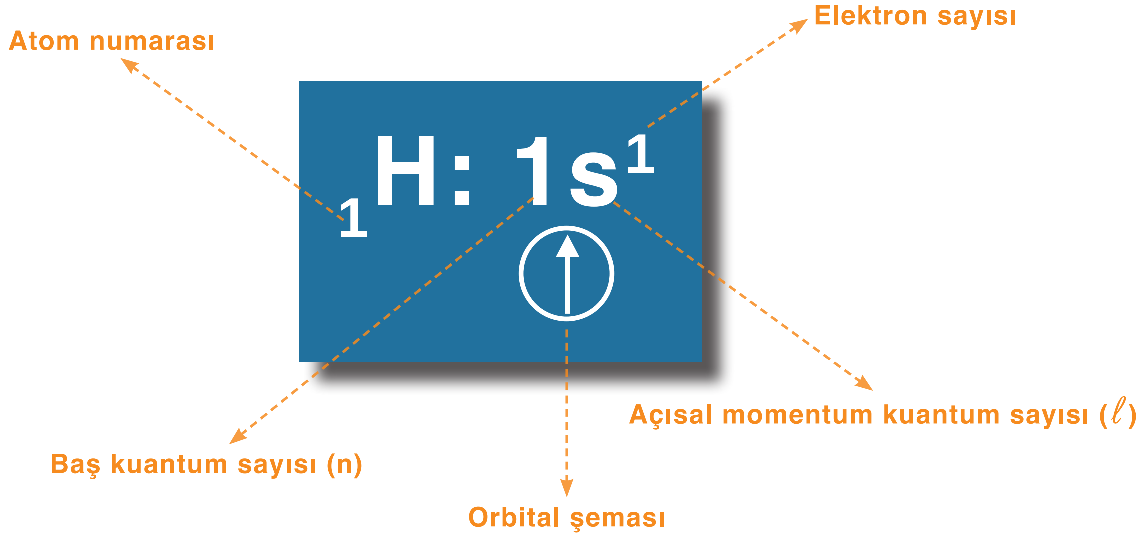
şeklindedir.

- Çok elektronlu bir atomda elektronların düşük enerjili orbitallerden başlayarak elektron diziliş sırası $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}\ 4p^6\ 5s^2\ 4d^{10}\ 5p^6\ 6s^2\ 4f^{14}\ 5d^{10}\ 6p^6\ 7s^2\ 5f^{14}\ 6d^{10}\ 7p^6$ ….. şeklindedir.

b) Atomların ve İyonların Elektron Dizilimleri

Atomların elektron dizilimleri Pauli İlkesi, Aufbau Prensibi, Madelung ve Hund Kuralları göz önüne alınarak yapılır.

Hidrojen atomunun bir elektronunun kuantum sayılarıyla elektron dizilimi ve orbital şeması şu şekilde gösterilir:



Atomların elektron dizilimleri çeşitli şekillerde gösterilir.

$_8$O atomunun

$_8$**O:** $1s^2\ 2s^2\ 2p^4$ elektron dizilimi şeklinde yapılabilir. Bu gösterimde eş enerjili orbitallere elektronların nasıl yerleştiği belirtilmez. Sadece her alt kabuktaki toplam elektron sayısı belirtilir.

$_8$**O:** $1s^2\ 2s^2\ 2p_x^2\ 2p_y^1\ 2p_z^1$ elektron dizilimi şeklinde yapılabilir. Bu gösterimde aynı alt kabuklardaki eş enerjili orbitallere Hund Kuralı'na göre elektronların yerleşimi aşağıdaki gibi gösterilir:

$_8$**O:** $1s^2$ $2s^2$ $2p^4$

Elektron diziliminde elektronların orbitallere Hund Kuralı'na göre dizilişi orbital şemasıyla (orbital diyagramı) gösterilir.

Orbital şemasında boş bir orbital ◯

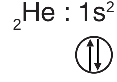
Yarı dolu bir orbital ⦶ veya ⦶

Tam dolu bir orbital ⦶ şeklinde gösterilir.

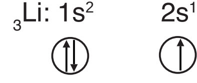
Yukarı yönlü oklar elektronun saat yönünde +1/2 spini gösterirse aşağı yönlü oklar saat yönünün tersi -1/2 spini gösterir.

Aşağıda bazı atomların elektron dizilimleri ve orbital şemaları gösterilmiştir.

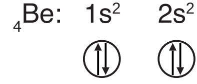
$_{2}He : 1s^2$



$_{3}Li: 1s^2$ $2s^1$

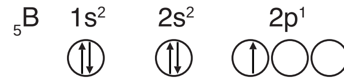


$_{4}Be: 1s^2$ $2s^2$



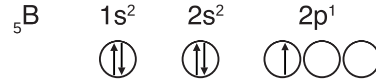
$_{5}B$ atomu için olası elektron dizilişleri ve orbital şemaları

$_{5}B$ $1s^2$ $2s^2$ $2p^1$

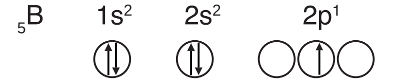


Bir elektron, p orbitallerindeki eş enerjili üç orbitalden herhangi birine yerleşebilir. Bu yerleşmede elektronların spinleri aşağı ya da yukarı yönlü olur.

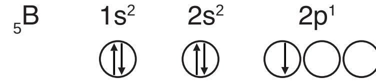
$_{5}B$ $1s^2$ $2s^2$ $2p^1$



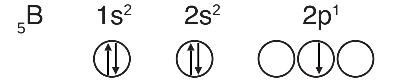
$_{5}B$ $1s^2$ $2s^2$ $2p^1$



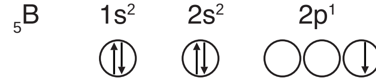
$_{5}B$ $1s^2$ $2s^2$ $2p^1$



$_{5}B$ $1s^2$ $2s^2$ $2p^1$

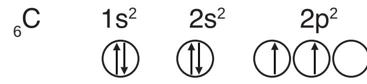


$_{5}B$ $1s^2$ $2s^2$ $2p^1$

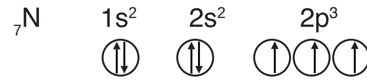


$_{6}C$, $_{7}N$, $_{8}O$, $_{9}F$, $_{10}Ne$ atomlarının elektron dizilimleri ve orbital şemaları

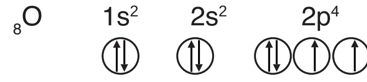
$_{6}C$ $1s^2$ $2s^2$ $2p^2$



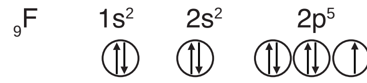
$_{7}N$ $1s^2$ $2s^2$ $2p^3$



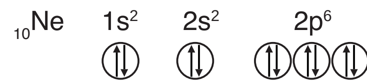
$_{8}O$ $1s^2$ $2s^2$ $2p^4$



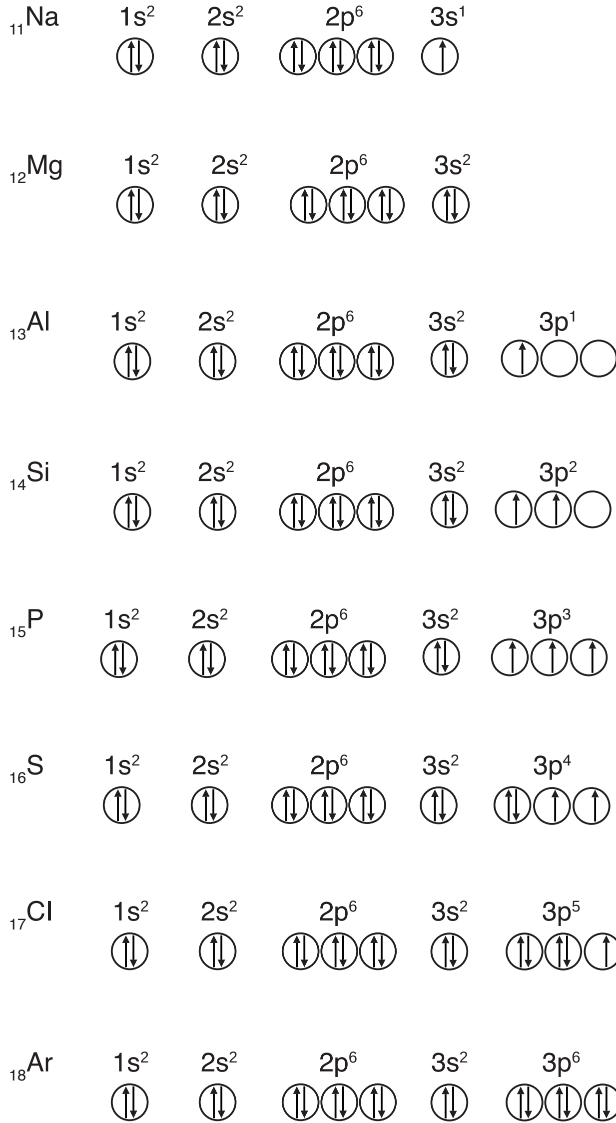
$_{9}F$ $1s^2$ $2s^2$ $2p^5$



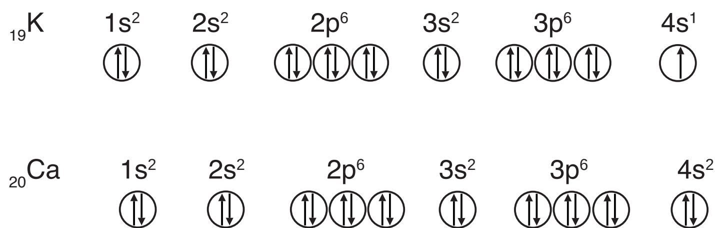
$_{10}Ne$ $1s^2$ $2s^2$ $2p^6$



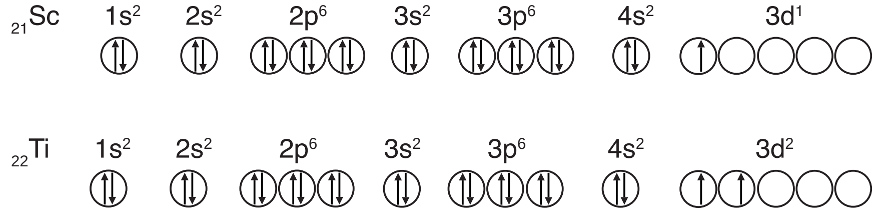
$_{11}Na$ ile $_{18}Ar$ arasındaki elementlerin elektron dizilimlerinde birinci ve ikinci katmandaki orbitaller dolduktan sonra 3s ve 3p alt katmanları öncelikle dolar.



Elektron diziliminde 3p orbitali dolduktan sonra elektronlar, 3d orbitalinden önce enerjisi daha düşük olan 4s orbitaline yerleşir. 4s orbitali iki elektronla dolduktan sonra Hund Kuralı'na göre elektronlar 3d orbitaline önce teker teker yerleşir. 3d orbitali birer elektronla yarı dolu hâle geldikten sonra diğer elektronlar zıt spinli olarak yerleşir.



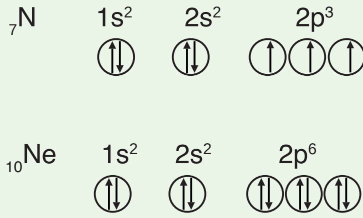
$_{21}Sc$ ile $_{30}Zn$ arasındaki elementlerin elektron dizilimi 3d orbitali ile sonlanır.

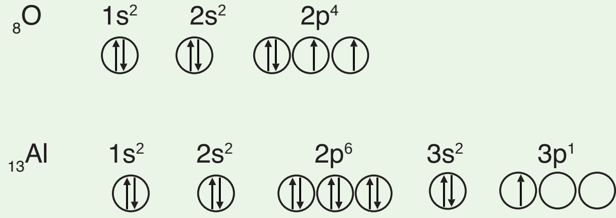


Küresel Simetrik Elektron Dizilimi

Atomların temel hâl elektron dizilimindeki orbitallerin yarı dolu veya tam dolu olması durumunda elektronlar çekirdek etrafında simetrik olarak dağılır. Çekirdek, bu elektronları eşit kuvvetle çektiği için atom, kararlılık kazanır. Bir atomun elektron dizilimindeki en son orbital türünün yarı dolu ya da tam dolu olması hâline **küresel simetrik elektron dizilimi** denir.

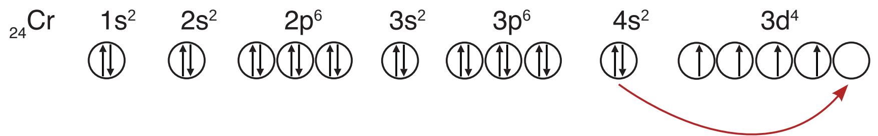
Elektron diziliminde en son orbital için s^1, s^2, p^3, p^6, d^5, d^{10}, f^7, f^{14} elektron dizilimleri küresel simetri özelliği gösterir. s^1, p^3, d^5 ve f^7 ile bitenler, yarı küresel simetri s^2, p^6, d^{10} ve f^{14} bitenler, tam küresel simetri özelliği gösterir.



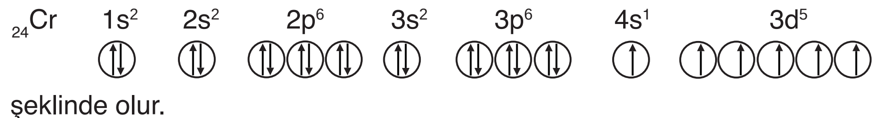


Atomların temel hâl elektron dizilimlerinde elektronların orbitallerdeki dizilimi ns^2 $(n-1)d^4$ ile sonlandığında s orbitalindeki bir elektron d orbitaline aktarılarak ns^1 $(n-1)d^5$ elektron dizilimi şeklinde yazılır. Aynı şekilde elektron dizilimi ns^2 $(n-1)d^9$ olması durumunda da ns^1 $(n-1)d^{10}$ elektron dizilimi şeklinde yazılır. Bunun nedeni ns^1 $(n-1)d^5$ ve ns^1 $(n-1)d^{10}$ elektron diziliminin küresel simetrik elektron dizilimine sahip olması ve atomun bu elektron diziliminde daha kararlı hâle gelmesidir.

$_{24}Cr$'un elektron dizilimi

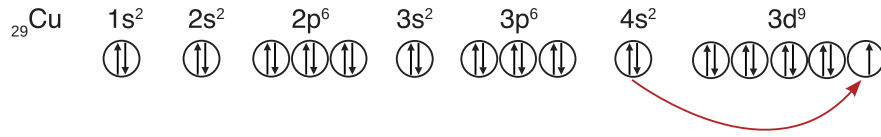


şeklinde olması gerekirken

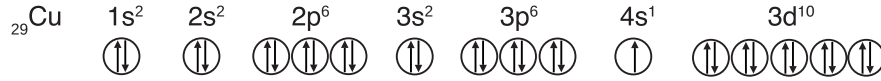


şeklinde olur.

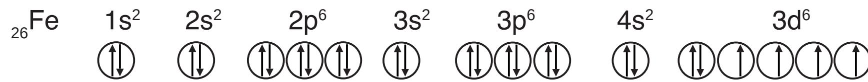
$_{29}$Cu'ın elektron dizilimi

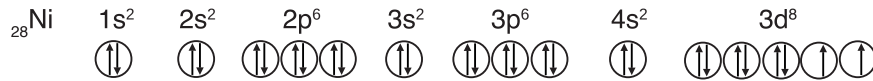


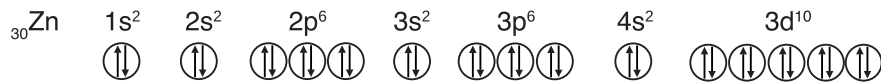
şeklinde olması gerekirken



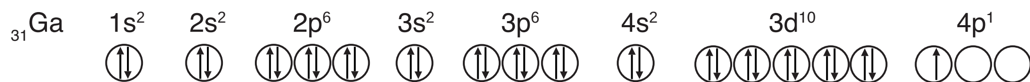
şeklinde olur. Krom ve bakırın bu elektron dizilimleri, temel hâl elektron dizilimine aittir.

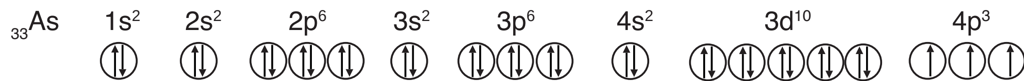


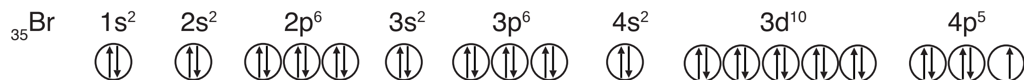


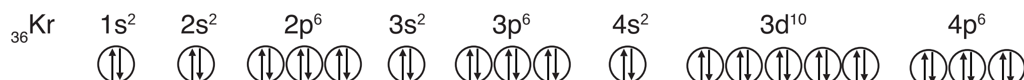


$_{31}$Ga ve $_{36}$Kr arasındaki elementlerde elektron dizilimleri 4p orbitali ile sonlanır.

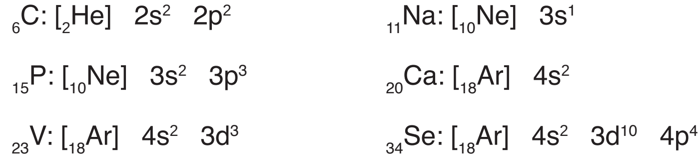








Atomların elektron dizilimleri kendine en yakın soy gazın elektron diziliminden yararlanılarak kısaltılabilir. Bu şekildeki kısa gösterim elektron diziliminde kolaylık sağlar. Aşağıda bazı atomların kısaltılmış elektron dizilimleri gösterilmiştir.



$_{6}C$: $[_{2}He]$ $2s^2$ $2p^2$ | $_{11}Na$: $[_{10}Ne]$ $3s^1$

$_{15}P$: $[_{10}Ne]$ $3s^2$ $3p^3$ | $_{20}Ca$: $[_{18}Ar]$ $4s^2$

$_{23}V$: $[_{18}Ar]$ $4s^2$ $3d^3$ | $_{34}Se$: $[_{18}Ar]$ $4s^2$ $3d^{10}$ $4p^4$

İyonların Elektron Dizilimi

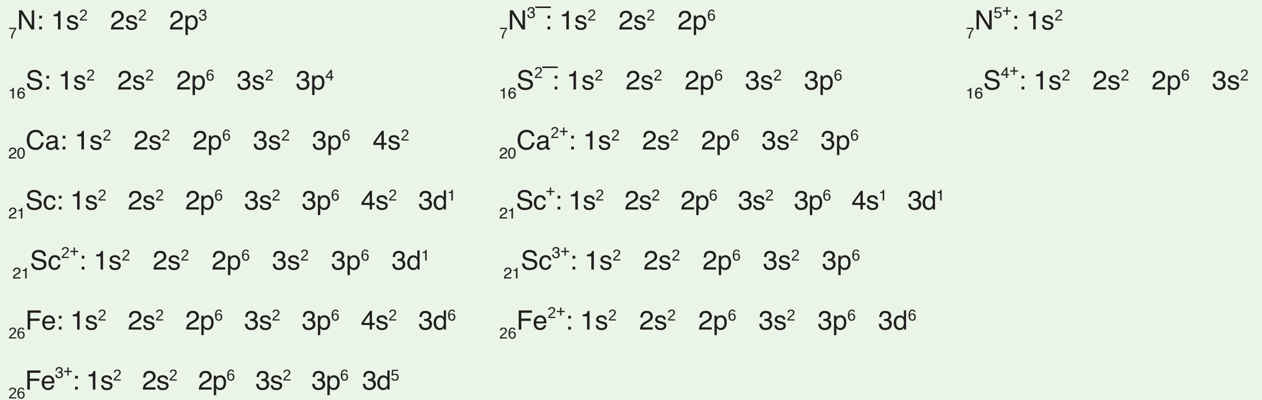
İyonların elektron dizilimi nötr hâldeki atomların elektron dizilimlerinden farklıdır. İyonların elektron dizilimi yazılırken iyonun, katyon ya da anyon hâline geçerken verdiği veya aldığı elektron sayıları dikkate alınır. Elektron dizilimi s veya p orbitali ile sonlanan nötr bir atom katyon hâline geçerken elektronlar en yüksek baş kuantum sayısına sahip (n) katmandan öncelikle ayrılır. Nötr bir atom anyon hâline gelirken de en son orbitale elektron alabilir. Nötr hâldeki bir atomun elektron dizilimi ns^2 (n-1)d ile sonlanıyorsa bu atomdan öncelikle uzaklaşan elektron ns orbitalindeki elektronlardır. ns orbitalindeki elektronlar uzaklaştıktan sonra (n-1)d'deki elektronlar uzaklaşmaya başlar.

Bilgi Kutusu

Nötr bir atom, katyon hâline gelirken elektronlar öncelikle en büyük n değerine sahip orbitalden, n değeri eşit olan orbitallerde ise ℓ değeri büyük olan orbitalden ayrılır.

3d orbitallerinde bulunan elektronlar 4s orbitalinde bulunan elektronlara göre çekirdeğe daha yakındır. Böylelikle 3d orbitallerindeki elektronlar 4s orbitalindeki elektronlara göre çekirdek tarafından daha çok çekilir. Bu nedenle Sc ve Fe atomları katyon hâline gelirken öncelikle 4s orbitallerinden elektron verir.

İyonların elektron dizilimleri yazılmadan önce atomun nötr hâldeki elektron dizilimlerine bakılarak atomların hangi orbitallerden elektron verebileceği kolaylıkla anlaşılır. Böylelikle atomların anyon ve katyon hâllerinin elektron dizilimleri doğru yazılmış olur. Aşağıda bazı atomların nötr, anyon ve katyon hâlinde elektron dizilimleri verilmiştir.



$_{7}N$: $1s^2$ $2s^2$ $2p^3$	$_{7}N^{3-}$: $1s^2$ $2s^2$ $2p^6$	$_{7}N^{5+}$: $1s^2$
$_{16}S$: $1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^4$	$_{16}S^{2-}$: $1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^6$	$_{16}S^{4+}$: $1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$
$_{20}Ca$: $1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^6$ $4s^2$	$_{20}Ca^{2+}$: $1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^6$	
$_{21}Sc$: $1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^6$ $4s^2$ $3d^1$	$_{21}Sc^{+}$: $1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^6$ $4s^1$ $3d^1$	
$_{21}Sc^{2+}$: $1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^6$ $3d^1$	$_{21}Sc^{3+}$: $1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^6$	
$_{26}Fe$: $1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^6$ $4s^2$ $3d^6$	$_{26}Fe^{2+}$: $1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^6$ $3d^6$	
$_{26}Fe^{3+}$: $1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^6$ $3d^5$		

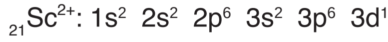
Proton sayıları farklı, elektron sayıları ve elektron dizilimleri aynı olan taneciklere **izoelektronik** denir.

$_{11}Na^{+}$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$

$_{8}O^{2-}$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$

$_{11}Na^{+}$ ve $_{8}O^{2-}$ iyonlarının elektron sayıları ve elektron dizilimleri aynı olduğu için bu iyonlar izoelektronik taneciktir.

$_{19}K$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1$

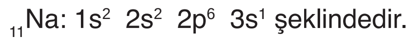

$_{21}Sc^{2+}$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^1$

$_{19}K$ ve $_{21}Sc^{2+}$ taneciklerinin elektron sayıları aynı olmasına rağmen elektron dizilimleri farklı olduğundan bu tanecikler izoelektronik değildir.

Uyarılmış Atom

Bir atomun elektron diziliminin en kararlı hâline **temel hâl** denir. Temel hâl elektron diziliminde elektronlar, orbitallere Aufbau Prensibi'ne göre yerleşir. Temel hâldeki bir atom enerji alırsa atomun temel hâldeki bir elektronu üst enerji katmanına çıkar. Bu atoma **uyarılmış atom**, elektrona ise **uyarılmış elektron** denir. Uyarılmış elektron diziliminde elektron dizilimi Aufbau Kuralı'na uymaz. Uyarılmış hâlde atom kararsızdır. Uyarılmış bir atomdaki elektron temel hâle dönerken enerji verir. Uyarılmış elektronlar, verilen enerji miktarına göre üst enerji katmanlarındaki değişik orbitallerde bulunabilir.

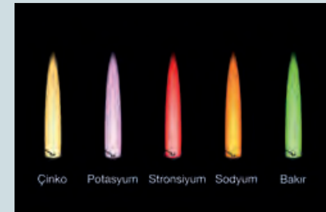
Örneğin $_{11}Na$ elementinin temel hâl elektron dizilimi


$_{11}Na$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$ şeklindedir.

$_{11}Na$ elementinin enerji alarak uyarılmış hâldeki elektron dizilimi

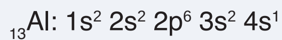
$_{11}Na$ $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 4s^1$ veya $_{11}Na$ $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3p^1$ şeklinde olabilir.

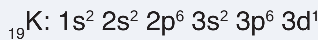
Bilgi Kutusu

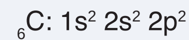


Metaller ısıtıldığında uyarılmış hâle gelir. Uyarılmış atomlar temel hâle geçerken ışıma yaparak farklı renkler oluştururlar.

Örnek


$_{13}Al$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 4s^1$


$_{19}K$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^1$


$_{6}C$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$

Yukarıda elektron dizilimleri verilen atomların hangileri uyarılmış hangileri temel hâldedir?

Çözüm

Al ve K atomlarının elektron dizilimi uyarılmış hâl elektron dizilimidir. C atomunun elektron dizilimi ise temel hâl elektron dizilimine aittir.

Örnek

$_{23}V$ elementinin

a) Temel hâl elektron dizilimini yazınız.

b) Baş kuantum sayısı (n) değeri 2 olan kaç elektronu vardır?

c) Açısal momentum kuantum sayısı (ℓ) 0 olan kaç elektronu vardır?

ç) Manyetik kuantum sayısı (m_ℓ) 0 olan en fazla kaç elektronu bulunur?

d) Spin kuantum sayısı (m_s) +1/2 ve -1/2 olan en fazla kaç elektronu bulunur?

Çözüm

a) $_{23}V$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^3$

b) $_{23}V$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^3$ n = 2 olan 2 + 6 = 8 elektron vardır.

c) ℓ= 0 olan s orbitallerindeki elektronlardır. Bu nedenle vanadyum elementinin s orbitallerinde top lam 8 elektron bulunur.

ç) $_{23}V$: $1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^6$ $4s^2$ $3d^3$

	$1s^2$	$2s^2$	$2p^6$			$3s^2$	$3p^6$			$4s^2$	$3d^3$				
	⇅	⇅	⇅	⇅	⇅	⇅	⇅	⇅	⇅	⇅	↑	↑	↑		
m_ℓ :	0	0	-1	0	+1	0	-1	0	+1	0	-2	-1	0	+1	+2

m_ℓ değeri 0 olan en fazla elektron sorulduğu için d orbitalindeki herhangi bir elektronun m_ℓ= 0 değeri aldığı kabul edilir. Bu nedenle m_ℓ değeri 0 olan 13 elektron bulunur.

d) m_s için aynı yönlü spinlerin sayısı en fazla 13 olduğundan

m_s= +1/2 ve m_s= -1/2 olan elektron sayısı en fazla 13 olabilir.

c) Değerlik Orbitali ve Değerlik Elektronu

Bir atomun genellikle en dış enerji kabuğunda bulunan elektronlara **değerlik elektronları** denir. Bu değerlik elektronları genellikle bağ yapımında kullanılan elektronlardır. Bir atomun değerlik elektronlarının bulunduğu orbitallere **değerlik orbitalleri** denir. Genelde bir elementin değerlik elektronları soy gaz elektron diziliminden sonra gelen elektronlardır.

Bir atomun elektron diziliminde

- Elektron dizilimi ns ile sonlanan atomların değerlik elektron sayısı ns orbitallerindeki elektron sayısına eşittir.
- Elektron dizilimi ns np ile sonlanan atomların değerlik elektron sayısı ns np orbitallerindeki elektron sayılarının toplamına eşittir.
- Elektron dizilimi ns (n-1)d ile sonlanan atomların değerlik elektron sayısı ns (n-1)d orbitallerindeki elektron sayılarının toplamına eşittir.
- Elektron dizilimi ns (n-1)d np ile sonlanan atomların değerlik elektron sayısı ns np orbitallerindeki elektron sayılarının toplamına eşittir.

$_{3}Li$, $_{7}N$, $_{12}Mg$, $_{22}Ti$, $_{34}Se$ elementlerin elektron dizilimleri değerlik orbitalleri ve değerlik elektron sayıları Tablo 1.3'te verilmiştir.

Tablo 1.3: *Bazı Elementlerin Değerlik Orbitalleri ve Değerlik Elektron Sayıları*

Element	Elektron Dizilimi	Değerlik Orbitalleri	Değerlik Elektron Sayısı
$_{3}Li$	$[_{2}He]\ 2s^1$	2s	1
$_{7}N$	$[_{2}He]\ 2s^2\ 2p^3$	2s, 2p	5
$_{12}Mg$	$[_{10}Ne]\ 3s^2$	3s	2
$_{22}Ti$	$[_{18}Ar]\ 4s^2\ 3d^2$	4s, 3d	4
$_{34}Se$	$[_{18}Ar]\ 4s^2\ 3d^{10}\ 4p^4$	4s, 4p	6

ç) Elementlerin Periyodik Cetvelde Grup, Periyot ve Bloğunun Elektron Dizilimi ile Belirlenmesi

Modern periyodik cetvel artan atom numarasına göre düzenlenmiştir. Periyodik cetvelde yatay sıralara **periyot**, düşey sütunlara **grup** denir. Bilinen 118 element için 7 periyot, 18 grup bulunur. Grupların 8 tanesi A grubu, 10 tanesi B grubudur. Gruplar iki şekilde adlandırılır. Birinci adlandırma harf ve rakamla olan adlandırmadır (1A, 3A, 7B …). İkinci adlandırma IUPAC'ın önerdiği adlandırmadır. Bu adlandırmada gruplar 1'den 18'e kadar 1. grup, 2. grup …, 18. grup şeklinde adlandırılır. Örneğin kükürt ($_{16}S$) elementi IUPAC'a göre 16. grupta harf ve rakamla adlandırmada ise 3. periyot 6A grubunda yer alır.

Periyodik cetvelde aynı grupta yer alan elementler, benzer elektron dizilimine sahiptir. Bu nedenle aynı grupta yer alan elementlerin değerlik elektron sayıları aynı olup kimyasal özellikleri benzerdir. En yüksek baş kuantum sayısına sahip kabuk (en dış kabuk veya değerlik kabuğu) n ile gösterilirse

- 1. gruptaki elementler, en dış kabuğun s orbitalinde tek elektrona sahiptir. Elektron dizilimleri ns^1 elektron dizilimiyle sonlanır.
- 2. gruptaki elementler, en dış kabuğun s orbitalinde 2 elektrona sahiptir. Yani elektron dizilimleri ns^2 elektron dizilimiyle sonlanır.
- 3-12. grup ve bu gruplar arasında bulunan elementlerin elektron dizilimi ns^2 $(n-1)d$ elektron dizilimiyle sonlanır.
- 13-18. grup ve bu gruplar arasında bulunan elementlerin elektron dizilimi ns^2 np veya ns^2 $(n-1)d^{10}$ np elektron dizilimi ile sonlanırlar (He hariç).

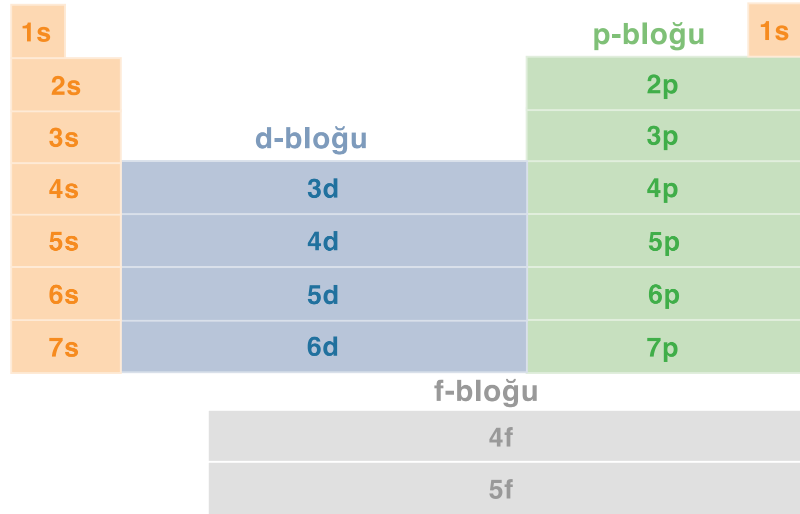
Tüm ayrıntılar için geçerli olmasa da periyodik çizelge, alt kabukların elektronlar tarafından dolduruluşuna göre dört ana bloğa ayrılıp Aufbau Prensibi ile ilişkilendirilir.

s Bloğu: Nötr ve temel hâl elektron dizilimleri s orbitali ile sonlanan elementlerin oluşturduğu bloktur. s bloğunda birinci grup ve ikinci grup (1A ve 2A) elementleri yer alır. Ayrıca 18. gruptaki (8A) He s bloğu elementidir.

p Bloğu: Nötr ve temel hâl elektron dizilimleri p orbitali ile sonlanan elementlerin oluşturduğu bloktur. p bloğunda 13, 14, 15, 16, 17, 18. grup (He hariç) elementleri yer alır. Bu elementler 3A, 4A, 5A, 6A, 7A ve 8A grubu elementleridir. s ve p blok elementlerine **baş grup elementleri** denir.

d Bloğu: Nötr ve temel hâl elektron dizilimleri d orbitali ile sonlanan elementlerin oluşturduğu bloktur. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. grup elementleri d bloğunda yer alır. Bu elementler 3B, 4B, 5B, 6B, 7B, 8B, 1B ve 2B grubu elementleridir. d bloğu elementlerine **geçiş metalleri** denir. Bu metallerin özelliklerinden biri de genellikle birden fazla pozitif yükseltgenme sayısı almasıdır (Fe^{2+}, Fe^{3+} vb.).

f Bloğu: Nötr ve temel hâl elektron dizilimleri f orbitali ile sonlanan elementlerin oluşturduğu bloktur. Elektron dizilimi 4f ile sonlanırsa lantanit, 5f ile sonlanırsa aktinit sınıfına girer. f bloğu elementlerine **iç geçiş elementleri** denir. Görsel 1.18'de elementlerin blokları gösterilmiştir.



Görsel 1.18: *Periyodik sistemde element blokları*

Bilgi Kutusu

Elementlerin periyodik sistemdeki yeri nötr ve temel hâldeki elektron diziliminden bulunur.

Elementin elektron diziliminden yararlanarak periyodik sistemde periyot ve grubu bulunabilir. Bir elementin baş kuantum sayısının (n) en büyük değeri elementin periyodik sistemdeki periyot numarasını verir. Elementin elektron diziliminde değerlik elektronları sayıları toplamı grup numarasını verir. Elektron dizilimi s ve p orbitali ile bitenler A grubu, d ve f orbitali ile bitenler B grubu elementidir.

Tablo 1.4'de A grubu ve Tablo 1.5'te B grubu elementlerinin dış katman elektron dizilimleri ve grup numaraları verilmiştir.

Tablo 1.4: *A Grubu Elementlerinin Dış Katman Elektron Dizilimi ve Grup Numaraları*

Grup	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A
Elektron Dizilimi	ns^1	ns^2	$ns^2\ np^1$	$ns^2\ np^2$	$ns^2\ np^3$	$ns^2\ np^4$	$ns^2\ np^5$	$ns^2\ np^6$
IUPAC Grup Numarası	1	2	13	14	15	16	17	18

Tablo 1.5: *B Grubu Elementlerinin Dış Katman Elektron Dizilimi ve Grup Numaraları*

Grup	3B	4B	5B	6B	7B	8B	8B	8B	1B	2B
Elektron Dizilimi	ns^2 $(n-1)d^1$	ns^2 $(n-1)d^2$	ns^2 $(n-1)d^3$	ns^1 $(n-1)d^5$	ns^2 $(n-1)d^5$	ns^2 $(n-1)d^6$	ns^2 $(n-1)d^7$	ns^2 $(n-1)d^8$	ns^1 $(n-1)d^{10}$	ns^2 $(n-1)d^{10}$
IUPAC Grup Numarası	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

$_8O$ atomunun elektron diziliminden yararlanarak oksijenin periyodik sistemdeki periyodu, grup numarası ve bloğu aşağıdaki gibi bulunur.

$_8O: 1s^2\ 2s^2\ 2p^4$

Oksijen atomunun elektron dizilimi, p orbitali ile sonlandığı için p bloğu elementidir ve A grubunda yer alır. En büyük baş kuantum sayısı n = 2 olduğu için oksijen atomu 2. periyotta yer alır. Oksijen atomunun değerlik elektronları 2s ve 2p orbitallerinde yer aldığı için değerlik elektron sayısı toplamı 6'dır. Bu nedenle oksijen atomu 6A grubunda (16. grup) bulunur.

$_{12}Mg$ atomunun elektron diziliminden yararlanarak periyodik sistemdeki periyodu, grup numarası ve bloğu aşağıdaki gibi bulunur.

$_{12}Mg: 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2$

Magnezyum atomunun elektron dizilimi s orbitali ile sonlandığı için s bloğu elementidir ve A grubunda yer alır. En büyük baş kuantum sayısı n = 3 olduğu için magnezyum atomu 3. periyotta yer alır. Magnezyum atomunun değerlik elektronları 3s orbitalinde yer aldığı için değerlik elektron sayısı 2'dir. Bu nedenle magnezyum atomu 2A grubunda (2. grup) bulunur.

$_{22}Ti$ atomunun elektron diziliminden yararlanarak periyodik sistemdeki periyodu, grup numarası ve bloğu aşağıdaki gibi bulunur.

$_{22}Ti: 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^2$

Titanyum atomunun elektron dizilimi d orbitali ile sonlandığı için d blok elementidir ve B grubunda bulunur. En büyük baş kuantum sayısı n = 4 olduğu için titanyum elementi 4. periyotta yer alır. Titanyum atomunun değerlik elektronları 4s ve 3d orbitallerinde olduğu için değerlik elektron sayısı toplamı 4'tür. Bundan dolayı titanyum elementi 4B grubunda (4. grup) bulunur.

$_{32}Ge: 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}\ 4p^2$

Germanyum atomunun elektron dizilimi p orbitali ile sonlandığı için p blok elementidir ve A grubunda yer alır. En büyük baş kuantum sayısı n = 4 olduğu için germanyum elementi 4. periyotta yer alır. Germanyum atomunun değerlik elektronları 4s ve 4p orbitallerinde yer aldığı için değerlik elektron sayısı toplamı 4'tür. Bundan dolayı germanyum elementi 4A grubunda (14. grup) bulunur.

Bilgi Kutusu

$_2He: 1s^2$ elektron diziliminde n = 1 olduğundan helyum 1. periyotta bulunur. Helyum atomunun değerlik elektron sayısı 2'dir. Ayrıca helyum atomu s bloğu elementidir.

Örnek

$_{1}H$, $_{7}N$, $_{14}Si$, $_{20}Ca$, $_{25}Mn$, $_{27}Co$, $_{30}Zn$, $_{35}Br$ elementlerinin periyodik sistemdeki periyot, grup ve bloğunu belirleyiniz.

Çözüm

$_{1}H$: $1s^1$ n=1 olduğu için 1. periyot, 1A grubu (1. grup), s bloğu elementidir.

$_{7}N$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^3$ n=2 olduğu için 2. periyot, 5A grubu (15. grup), p bloğu elementidir.

$_{14}Si$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^2$ n = 3 olduğu için 3. periyot, 4A grubu (14. grup), p bloğu elementidir.

$_{20}Ca$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2$ n = 4 olduğu için 4. periyot, 2A grubu (2. grup), s bloğu elementidir.

$_{25}Mn$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^5$ n = 4 olduğu için 4. periyot, 7B grubu (7. grup), d bloğu elementidir.

$_{27}Co$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^7$ n = 4 olduğu için 4. periyot, 8B grubu (9. grup), d bloğu elementidir.

$_{30}Zn$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}$ n = 4 olduğu için 4. periyot, 2B grubu (12. grup), d bloğu elementidir.

$_{35}Br$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}\ 4p^5$ n = 4 olduğu için 4. periyot, 7A grubu (17. grup), p bloğu elementidir.

Örnek

Bir elementin temel hâl elektron diziliminde p orbitallerinde toplam 16 elektron vardır. Bu elementin periyodik cetveldeki yerini ve atom numarasını bulunuz.

Çözüm

p orbitallerinde 16 elektron bulunduran elementin temel hâl elektron dizilimi;

X: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}\ 4p^4$ şeklinde olmalıdır. Buna göre bu element periyodik sistemde 4. periyot 6A grubunda yer alır. Nötr hâlde elektron sayısı toplamı 34 olduğundan atom numarası da 34'tür.

Örnek

X^{2+} yüklü iyonun elektron dizilimi $3p^6$ ile sonlandığına göre X elementinin periyodik sistemdeki yerini ve atom numarasını bulunuz.

Çözüm

Elementlerin periyodik sistemdeki yeri nötr hâldeki elektron dizilimlerinden bulunur.

X^{2+} $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$ olduğu için X^{2+} iyonunun elektron sayısı 18'dir. Nötr X atomunun ise elektron sayısı 20 olur. X elementinin atom numarası 20, periyodik sistemdeki yeri

$_{20}X$ $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2$ elektron dizilimine göre 4. periyot 2A grubu (2. grup) olarak bulunur.

1.3. Alıştırma

$_{25}Mn$ elementinin

a) Temel hâl elektron dizilimini yaparak periyodik sistemdeki yerini bulunuz.

b) Manyetik kuantum sayısı $m_\ell = +1$ olan kaç elektronu vardır?

c) Spin kuantum sayısı $m_s = -1/2$ olan en fazla kaç elektronu bulunabilir?

1.4. Alıştırma

$_{8}O^{2-}$, $_{17}Cl^{-}$, $_{28}Ni^{2+}$, $_{35}Br^{-}$ iyonlarının elektron dizilimlerini yazınız.

1.5. Alıştırma

$_{20}Ca$, $_{26}Fe^{3+}$, $_{16}S$, $_{21}Sc$ atom ve iyonlarından hangileri küresel simetri elektron dizilimine sahiptir?

1.6. Alıştırma

I. $_{7}N^{3-}$-$_{12}Mg^{2+}$

II. $_{28}Ni$ -$_{29}Cu^{+}$

III. $_{17}Cl^{-}$ -$_{11}Na^{+}$

tanecik çiftlerinden hangileri izoelektroniktir?

1.1 UYGULAMA SORULARI

Aşağıda verilen soruları yanıtlayınız.

1. 3. Periyot 2A grubundaki atomun elektron diziliminde en yüksek enerjili orbitalindeki elektronun manyetik kuantum sayısı kaçtır?

2. Aşağıdaki atomların elektron dizilimlerini yazarak, küresel simetri elektron dizilimine sahip olanları belirtiniz.

$_{30}Zn$:

$_{14}Si$:

$_{24}Cr$:

$_{5}B$:

3. Nötr hâldeki elektron dizilimi $ns^2(n-1)d^7$ ile sonlanan atom periyodik cetvelde hangi grupta bulunur?

4. 2. Periyot 5A grubunda bulunan atomun temel hâl elektron diziliminde açısal momentum kuantum sayısı 1 olan kaç elektronu bulunur?

3. BÖLÜM

PERİYODİK ÖZELLİKLER

- *Periyodik sistem niçin düzenlenmiştir?*
- *Periyodik sistemde atomun hangi özellikleri periyodik olarak değişir?*
- *Periyodik sistemde metal ve ametaller nasıl belirlenir?*

1.3.1. Periyodik Özelliklerdeki Değişim Eğilimleri

Periyodik sistemde elementler artan atom numarasına göre sıralanır. Bir periyottan diğer bir periyoda geçerken elementlerin kimyasal özelliklerinde periyodik ve düzenli bir değişim olur. Bu değişim elementlerin dış katmanlarındaki elektron dizilimleri ile ilgilidir. Dolayısıyla elementlerin periyodik özellikleri olan atom yarıçapları, iyonlaşma enerjileri, elektronegatiflikleri, elektron ilgileri, metalik-ametalik özellikleri, asidik ve bazik karakterleri gibi özellikler düzenli ve sistematik bir biçimde değişmektedir.

Periyodik sistemde elementlerin bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini anlamak için atom büyüklükleri hakkında bilgi sahibi olunması gerekir. Atom büyüklükleri atom yarıçapı olarak alınır. Ancak atom yarıçaplarını belirlemek zordur. Kuantum Kuramı'na göre bir atomun büyüklüğünden kesin olarak bahsedilemez. Çünkü Kuantum Kuramı'na göre elektronların çekirdek etrafındaki katmanlarda bulunma olasılığı çekirdekten uzaklaştıkça azalır. Ancak hiçbir zaman bu olasılık sıfır olmamaktadır. Bu nedenle bir atomun kesin bir dış sınırı yoktur. Bu durumda elektron yoğunluğunun %95'ini içinde bulunduran çekirdek dışındaki bir uzaklığa göre bir etkin atom yarıçapının belirlenmesi gerekmektedir. Atomlar sürekli etkileşim hâlinde olduklarından tek bir atomun büyüklüğünden söz etmek anlamsızdır. Ancak atomların büyüklükleri bağ oluşturduklarında yarıçap, bitişik atomların çekirdekleri arasındaki uzaklıktır. Bu uzaklığın atomların kimyasal bağ yapması ya da bağ yapmaksızın birbirine değmesi durumlarına bağlı olarak farklılık göstermesine karşın, atom yarıçapları ancak çekirdekler arası uzaklıktan belirlenebilmektedir.

Bilgi Kutusu

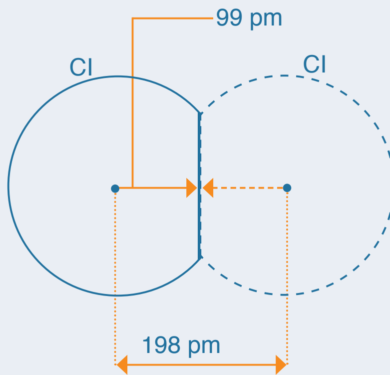
1 pm = 10^{-12} m
1 Å = 10^{-10} m
1 nm = 10^{-9} m

a) Kovalent, Van der Waals ve İyonik Yarıçap

Kimyasal değişimlerde öncelikle bağ yapmış atomlarla ilgilenildiğinden atom yarıçaplarını belirlemek için esas olarak kimyasal bağlarla bağlı iki atom arasındaki uzaklık dikkate alınır.

Kovalent Yarıçap

Tek bir kovalent bağla bağlanmış eşdeğer iki atomun çekirdekleri arasındaki uzaklığın yarısına **kovalent yarıçap** denir. Kovalent yarıçap ametal atomlarının oluşturduğu moleküllerden hesaplanan yarıçaptır. Örneğin iki özdeş klor atomundan oluşan Cl_2 molekülünde kovalent yarıçap iki klor atomunun çekirdekleri arasındaki uzaklığın yarısı olan 99 pm'dir. Klor atomunun kovalent yarıçapı 99 pm'dir (Görsel 1.19).

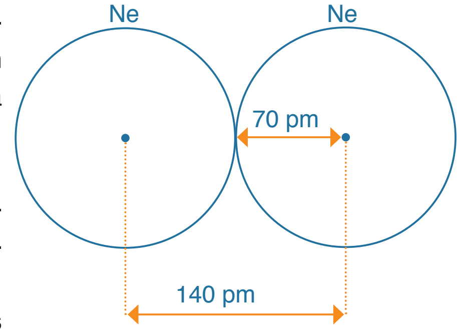


Görsel 1.19: *Klor atomunun kovalent yarıçapı*

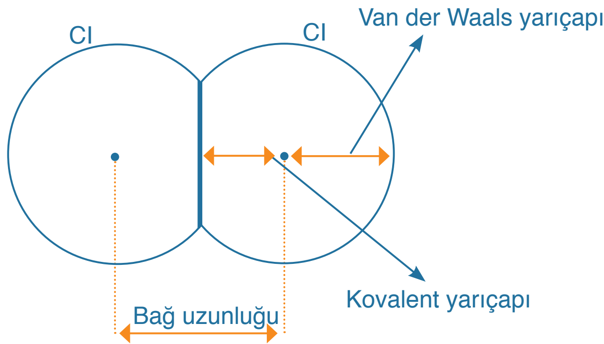
Van der Waals Yarıçapı

Soy gazlar, düşük sıcaklık ve yüksek basınç altında katı hâle gelir. Soy gaz atomlarını katı hâlde bir arada tutan zayıf kuvvetler van der Waals kuvvetleridir. Soy gazlar için katı hâlde hesaplanan yarıçapa **van der Waals yarıçapı** denir. Van der Waals yarıçap soy gazların katı hâllerinde komşu atomların çekirdekleri arasındaki uzaklığın yarısıdır. Örneğin neon atomunun çekirdekleri arası uzaklığı 140 pm'dir. Çekirdekler arası uzaklığın yarısı 70 pm neon atomunu van der Waals yarıçapıdır (Görsel 1.20).

F_2, Cl_2 gibi moleküller apolar olup molekülleri arasında van der Waals etkileşimleri vardır. Van der Waals yarıçapı kovalent yarıçaptan daha büyük, çekirdekler arası uzaklıktan daha küçüktür (Görsel 1.21).



Görsel 1.20: *Neon atomunun çekirdekler arası uzaklığı ve van der Waals yarıçapı*

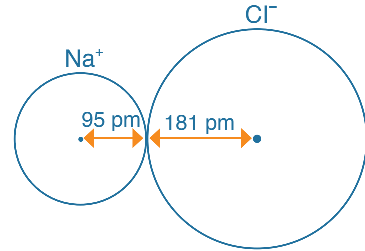


Görsel 1.21: *Cl_2 molekülündeki kovalent yarıçap, van der Waals yarıçapı ve bağ uzunluğu*

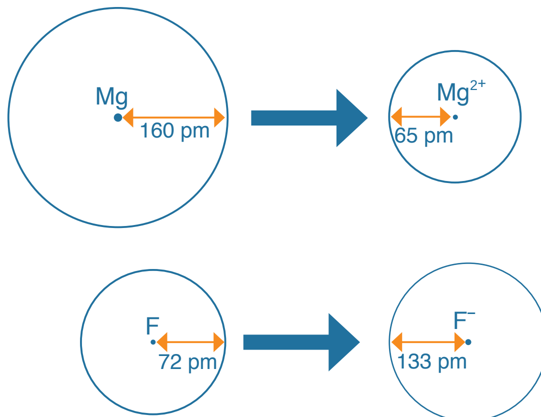
İyonik Yarıçap

İyonik bağla bağlanmış iyonların çekirdekleri arasındaki uzaklığa göre belirlenen yarıçapa **iyonik yarıçap** denir. İyonlar eşdeğer büyüklükte olmadığından aralarındaki uzaklık katyon ve anyon arasında uygun olarak bölüştürülür. Katyon ve anyon için ayrı ayrı hesaplanan iyonik yarıçap, katyon ve anyonların yarıçapları arasındaki uzaklıkların toplamının yarısı değildir. NaCl iyonik bileşiğinde Na^+ iyonunun iyon yarıçapı 95 pm, Cl^- iyonunun iyon yarıçapı 181 pm'dir (Görsel 1.22).

Nötr bir atom elektron verdiğinde iyon yarıçapı azalırken, elektron aldığında iyon yarıçapı artarak atom büyüklüğü değişir (Görsel 1.23). Atomlar iyonik bileşik oluştururken yarıçapları değiştiğinden fiziksel ve kimyasal özellikleri de değişir.



Görsel 1.22: *NaCl bileşiğindeki Na^+ ve Cl^- iyonlarının iyon yarıçapları*



Görsel 1.23: *Magnezyum ve flor elementlerinin nötr ve iyon hâllerinin yarıçapları*

b) Periyodik Özellikler ve Değişimi

Metalik/Ametalik Özellik

Periyodik sistemde metaller sol tarafta ametaller ise sağ tarafta bulunur. Bunun nedeni metal ve ametal atomlarının periyodik özellikleri ile birlikte son katman elektron sayılarının farklı olmasıdır. Metal atomlarının birinci iyonlaşma enerjileri ve elektron ilgileri genellikle düşüktür. Metal atomları, az enerji ile son katman elektronlarını kolaylıkla verebilir. Metallerin elektron verme eğilimine **metalik aktiflik** denir. Ametal atomlarının birinci iyonlaşma enerjileri ve elektron ilgileri genellikle yüksektir. Ametal atomları soy gaz elektron düzenine ulaşmak için kolaylıkla elektron alabilir. Ametallerin elektron alma isteğine **ametalik aktiflik** denir. Metalik ve ametalik özellikler atom yarıçapı, iyonlaşma enerjisi, elektron ilgisi ve elektronegatiflik değerlerine bağlıdır.

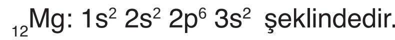
__Tablo 1.6:__ Na ve K atomunun atom yarıçapı, iyonlaşma enerjisi ve elektron ilgisi değerleri

Element	Na	K
Atom Yarıçapı (pm)	186	227
İE (kJ/mol)	496	418
Eİ (kJ/mol)	-52,9	-48,4

Periyodik sistemde metalik özellik aynı periyotta bulunan atomların son katmanında içerdiği elektron sayısı azaldıkça artar.

Örneğin sodyum (Na) ve magnezyum (Mg) atomlarının elektron dizilimleri

$_{11}Na: 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$

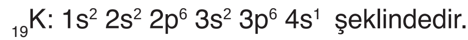

$_{12}Mg: 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2$ şeklindedir.

Sodyum atomunun son katmanındaki elektron sayısı, magnezyum atomunun son katmanındaki elektron sayısından azdır. Atom yarıçapı ise magnezyumdan büyük, birinci iyonlaşma enerjisi küçüktür (Tablo 1.6). Sodyumdan bir elektron koparmak magnezyuma göre daha kolaydır. Metalik özellik Na > Mg şeklindedir.

Periyodik sistemde gruplarda yukarıdan aşağıya inildikçe katman sayısı ve atom yarıçapı artarken iyonlaşma enerjileri ve elektron ilgileri genellikle azalır. Metaller son katman elektronlarını kolaylıkla verebilir. Bu nedenle gruplarda yukarıdan aşağıya inildikçe metalik özellik artar.

Örneğin sodyum (Na) ve potasyum (K) atomlarının elektron dizilimleri

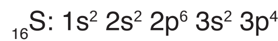
$_{11}Na: 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$


$_{19}K: 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1$ şeklindedir.

K atomunun katman sayısı Na atomunun katman sayısından fazla olduğundan K atomu daha kolay elektron verebilir. Bu nedenle metalik özellik K > Na'dur.

Periyodik sistemde aynı periyotta soldan sağa doğru gidildikçe atom yarıçapı azalırken son katmandaki elektron sayısı artar. Aynı periyotta soldan sağa doğru gidildikçe ametaller daha kolay elektron alabilir ve ametalik özellik artar.

Örneğin kükürt (S) ve klor (Cl) atomlarının elektron dizilimleri


$_{16}S: 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^4$

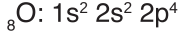
$_{17}Cl: 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$ şeklindedir.

Cl atomunun son katman elektron sayısı kükürt atomundan fazla atom yarıçapı ise daha küçüktür.

Cl'un elektron alma isteği kükürt atomundan daha fazla olduğundan ametalik özellik Cl > S şeklindedir.

Periyodik sistemde aynı grupta yukarıdan aşağıya inildikçe katman sayısı ve atom yarıçapı artarken elektron ilgisi ve elektronegatiflik azalır (Tablo 1.7). Ametallerin elektron alma isteği azaldığından aynı grupta yukarıdan aşağıya doğru inildikçe ametalik özellik de azalır.

Örneğin oksijen (O) ve kükürt (S) atomlarının elektron dizilimleri



$_{8}O$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^4$

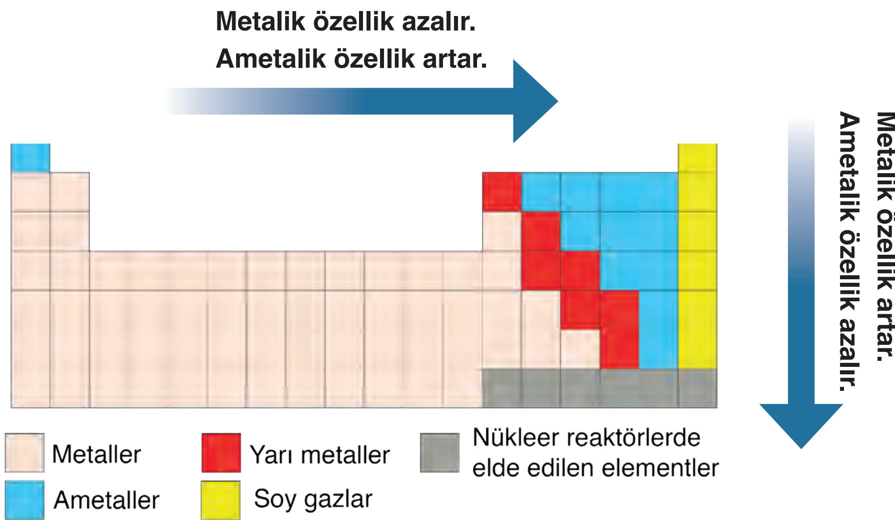
$_{16}S$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^4$ şeklindedir.

S atomunun katman sayısı O atomunun katman sayısından fazla olduğundan O atomu daha kolay elektron alabilir. Bu nedenle ametalik özellik O > S'dur.

Verilen örneklere göre periyodik sistemde metalik özellik aynı periyotta soldan sağa doğru azalırken aynı grupta yukarıdan aşağıya doğru inildikçe artar. Ametalik özellik ise aynı periyotta soldan sağa artarken aynı grupta yukarıdan aşağıya inildikçe azalır (Görsel 1.24).

Tablo 1.7: *O ve S atomunun atom yarıçapı, iyonlaşma enerjisi ve elektron ilgisi değerleri*

Element	O	S
Atom Yarıçapı (pm)	73	103
İE (kJ/mol)	1314	999,5
Eİ (kJ/mol)	-141	-200



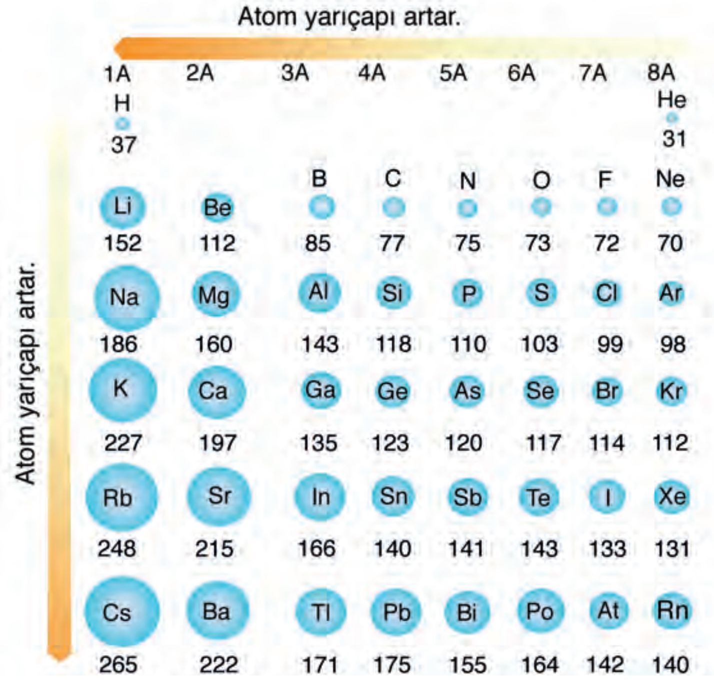
Görsel 1.24: *Metalik ve ametalik özelliklerin periyodik sistemde değişimi*

Atom / İyon Yarıçapı

Atom ve iyonların yarıçapları, fiziksel ve kimyasal özelliklerin belirlenmesinde yardımcı olur. **Atom yarıçapı** atomların çekirdekleri arasındaki uzaklığın yarısıdır. Atomlar küre olarak düşünüldüklerinde atom büyüklükleri, atom yarıçapı olarak ifade edilir.

Periyodik sistemin bir periyodunda soldan sağa doğru gidildikçe çekirdek yükü artarken katman sayısı değişmez. Çekirdeğin çekim gücünün artmasıyla katmanlar çekirdeğe yaklaşır ve atom yarıçapı küçülür.

Gruplarda yukarıdan aşağıya inildikçe çekirdek yükü artmasına rağmen katman sayısı arttığı için atom yarıçapları artar (Görsel 1.25).



Görsel 1.25: *Baş grup elementlerinin atom yarıçapları (pikometre olarak)*

Bir atomun elektron verdiğinde katyon hâlindeki, elektron aldığında ise anyon hâlindeki yarıçapına **iyon yarıçapı** denir.

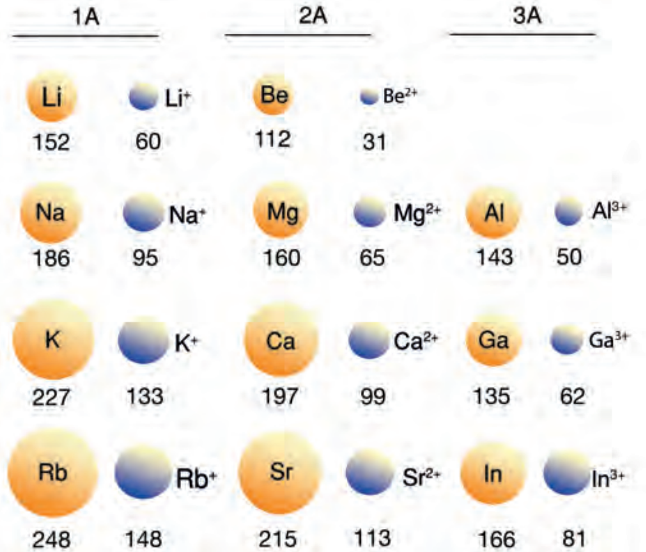
- Nötr bir atom elektron verdiğinde elektron başına düşen çekim kuvveti arttığı için atomun yarıçapı azalır. Atom, elektron aldığında elektron başına düşen çekim kuvveti azaldığından atomun yarıçapı artar (Görsel 1.26).

Örneğin flor atomu elektron alınca yarıçapı artar. Florür iyonunun (F^-) yarıçapı flor atomunun (F) yarıçapından büyüktür ($F^- > F$).

Sodyum atomu elektron verince yarıçapı azalır. Sodyum iyonunun (Na^+) yarıçapı sodyum atomunun (Na) yarıçapından küçüktür ($Na^+ < Na$).

Bilgi Kutusu

Elektron başına düşen çekim kuvveti, $\frac{p^+ \text{ sayısı}}{e^- \text{ sayısı}}$ *oranından bulunur. Elektron başına düşen çekim kuvveti arttıkça tanecik yarıçapı küçülür.*



Görsel 1.26: *Atom ve iyon yarıçapları (pm)*

- İzoelektronik iyonlarda atom numarası büyüdükçe iyon yarıçapı küçülür. Klor ve kalsiyum iyonlarının iyon yarıçapları ${}_{17}Cl^{-} > {}_{20}Ca^{2+}$ şeklindedir.

Örnek

${}_{11}Na$, ${}_{13}Al$ ve ${}_{19}K$ atomlarının yarıçaplarını karşılaştırınız.

Çözüm

Atomların çaplarını karşılaştırmak için elektron dizilimleri yazılır ve elementin periyodik sistemdeki yeri bulunur.

${}_{11}Na$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$	3. periyot 1A grubu
${}_{13}Al$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^1$	3. periyot 3A grubu
${}_{19}K$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1$	4. periyot 1A grubu

Aynı periyotta soldan sağa atom yarıçapı azalırken aynı grupta yukarıdan aşağıya atom yarıçapı arttığından atom yarıçaplarının karşılaştırılması K > Na > Al şeklindedir.

Örnek

Aşağıdaki taneciklerin yarıçaplarını karşılaştırınız.

a) ${}_{11}Na^{+} - {}_{9}F^{-}$ b) ${}_{17}Cl^{-} - {}_{18}Ar$ c) ${}_{16}S^{2-} - {}_{16}S^{6+}$

Çözüm

a) İzoelektronik iyonlarda atom numarası ve iyon yükü büyüdükçe tanecik yarıçapı küçülür. Bundan dolayı iyon yarıçapı $Na^{+} < F^{-}$ şeklindedir.

b) ${}_{17}Cl^{-}$ - ${}_{18}Ar$ iyon ve atomu izoelektronik taneciklerdir. Argonun atom numarası büyük olduğu için yarıçapı küçüktür. Tanecik yarıçapı ${}_{17}Cl^{-} > {}_{18}Ar$ şeklindedir.

c) ${}_{16}S^{2-} - {}_{16}S^{6+}$ iyonlarının $\dfrac{p^{+}\text{ sayısı}}{e^{-}\text{ sayısı}}$ ${}_{16}S^{2-} < {}_{16}S^{6+}$ olduğundan iyon yarıçapları ${}_{16}S^{2-} > {}_{16}S^{6+}$ şeklindedir.

1.7. Alıştırma

${}_{13}Al^{3+}$, ${}_{9}F^{-}$, ${}_{10}Ne$, ${}_{12}Mg^{2+}$ taneciklerinin yarıçaplarını büyükten küçüğe sıralayınız.

İyonlaşma Enerjisi

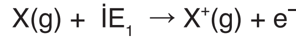
Atomların kararlılığı, en dış katmandaki elektronları koparmak için gerekli enerji ile doğru orantılıdır. Atomlar gaz hâlinde iken diğer komşu atom ve moleküllerle etkileşmediği kabul edilir. Bu nedenle iyonlaşma enerjileri gaz hâlindeki atomlar üzerinden ölçülür.

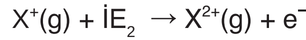
Gaz hâldeki nötr bir atomdan bir elektron koparmak için gerekli olan enerjiye **iyonlaşma enerjisi** denir. Nötr bir atomdan bir elektron koparmak için gerekli olan enerjiye birinci iyonlaşma enerjisi, +1 yüklü iyondan bir elektron koparmak için gerekli olan enerjiye ikinci iyonlaşma enerjisi, +2 yüklü bir iyondan bir elektron koparmak için gerekli olan enerjiye üçüncü iyonlaşma enerjisi denir. Bir atomdaki iyonlaşma enerjisi sayısı nötr hâldeki elektron sayısı kadardır. Örneğin ${}_4Be$ atomunun dört tane iyonlaşma enerjisi vardır, beşinci iyonlaşma enerjisi yoktur.

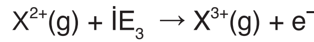
Bilgi Kutusu

Bir atom veya iyondan elektron koparmak her zaman endotermik (enerji alan) bir olaydır.

İyonlaşma enerjisi İE, E veya I şeklinde gösterilir. Aynı atom için bir sonraki iyonlaşma enerjisi daima bir önceki iyonlaşma enerjisinden büyüktür. Bunun nedeni atomdan elektron koptukça geride kalan elektronların çekirdek tarafından daha çok çekilmesi ve elektron başına düşen çekim kuvvetinin artmasıdır.


$X(g) + İE_1 \rightarrow X^+(g) + e^-$


$X^+(g) + İE_2 \rightarrow X^{2+}(g) + e^-$


$X^{2+}(g) + İE_3 \rightarrow X^{3+}(g) + e^-$

$İE_1 < İE_2 < İE_3 < …….< İE_n$ (n: nötr hâldeki toplam elektron sayısı)

Bilgi Kutusu

Atom yarıçapı ile iyonlaşma enerjisi genelde ters orantılıdır.

Örneğin

Alüminyum atomunun birinci iyonlaşma enerjisi ($İE_1$)

$Al(g) + 578\ kJ \rightarrow Al^+(g) + e^-$

Alüminyum atomunun ikinci iyonlaşma enerjisi ($İE_2$)

$Al^+(g) + 1820\ kJ \rightarrow Al^{2+}(g) + e^-$

Alüminyum atomunun üçüncü iyonlaşma enerjisi ($İE_3$)

$Al^{2+}(g) + 2750\ kJ \rightarrow Al^{3+}(g) + e^-$ şeklindedir.

İyonlaşma enerjisi; çekirdek yükü, atom yarıçapı, kopan elektronların bulunduğu orbital türü, iç katman elektronlarının çekirdeğin oluşturduğu elektron başına düşen çekim gücünü azaltması gibi özelliklere bağlıdır.

Periyodik sistemde aynı grupta yukarıdan aşağıya doğru inildikçe atom yarıçapı arttığı için atomlardan elektron koparmak için gerekli enerji azaldığından atomların iyonlaşma enerjisi de azalır. Örneğin 2A grubunun iyonlaşma enerjileri Tablo 1.8'de verilmiştir.

Periyodik sistemde aynı periyotta soldan sağa doğru gidildikçe atom yarıçapı azalırken iyonlaşma enerjileri genellikle artar. Periyotlarda iyonlaşma enerjisinin düzenli olarak artmamasının nedeni 2A ve 5A grubu elementlerinin küresel simetri elektron dizilimine sahip olmalarıdır.

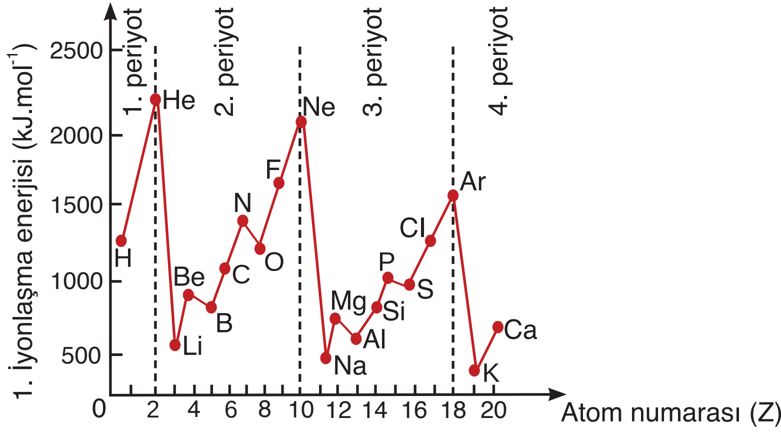
Tablo 1.8: *2A Grubu Elementlerinin Birinci İyonlaşma Enerjileri*

2A	$İE_1$ (kJ/mol)
Be	899
Mg	738
Ca	590
Sr	548
Ba	502

Küresel simetri elektron dizilimine sahip elementler kararlı olduklarından elektron koparmak için gerekli olan iyonlaşma enerjileri de yüksektir. Aynı periyotta birinci iyonlaşma enerjisi en küçük 1A grubu en büyük 8A grubu elementleridir.

Periyodik sistemin aynı periyodundaki iyonlaşma enerji değişimi

1A < 3A < 2A < 4A < 6A < 5A < 7A < 8A şeklindedir (Grafik 1.3).



Grafik 1.3: *İyonlaşma enerjisinin atom numarası ile değişimi*

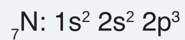
Grafik 1.3 incelendiğinde 2A grubunda bulunan berilyumun birinci iyonlaşma enerjisinin 3A grubunda bulunan bor atomunun birinci iyonlaşma enerjisinden büyük olduğu görülür. Bu durum berilyum ve bor atomlarının elektron diziliminden anlaşılabilir.

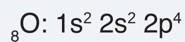
Berilyum, küresel simetrik elektron dizilimine sahipken bor değildir. Bu nedenle berilyum atomundan bir elektron koparmak için gerekli enerji bor atomuna göre daha fazladır. Aynı şekilde 5A grubundaki azot atomunun birinci iyonlaşma enerjisi 6A grubunda bulunan oksijen atomunun birinci iyonlaşma enerjisinden daha fazladır. Bunun nedeni 5A grubundaki azot atomunun elektron dizilimi 2p^3 küresel simetrik elektron dizilimi ile sonlanırken oksijen atomunun elektron dizilimi 2p^4 küresel simetrik olmayan elektron dizilimi ile sonlanmasıdır.

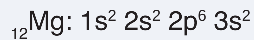
Örnek

$_7$N, $_8$O ve $_{12}$Mg atomlarının birinci iyonlaşma enerjilerini karşılaştırınız.

Çözüm


$_7$N: 1s^2 2s^2 2p^3 — 2. periyot 5A grubu


$_8$O: 1s^2 2s^2 2p^4 — 2. periyot 6A grubu


$_{12}$Mg: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 — 3. periyot 2A grubu

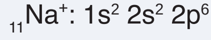
Aynı periyotta iyonlaşma enerjisi 5A > 6A’dır. Gruplarda yukarıdan aşağıya doğru inildikçe iyonlaşma enerjisi azalır. Buna göre verilen elementlerin birinci iyonlaşma enerjileri N > O > Mg şeklindedir.

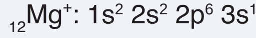
Örnek

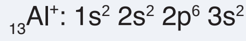
$_{11}Na$, $_{12}Mg$ ve $_{13}Al$ atomlarının ikinci iyonlaşma enerji ($İE_2$) değerlerini karşılaştırınız.

Çözüm

İkinci iyonlaşma enerjisi, +1 yüklü hâlden elektron koparmak olduğu için atomların +1 hâllerinin elektron dizilimi yazılır.


$_{11}Na^+$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$

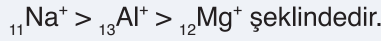

$_{12}Mg^+$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$


$_{13}Al^+$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2$

$_{11}Na^+$ iyonunun elektron dizilimi soy gaz elektron diziliminde ve katman sayısı diğer iyonlardan az olduğu için ikinci iyonlaşma enerji değeri en büyüktür.

$_{13}Al^+$ iyonunun elektron dizilimi $_{12}Mg^+$ iyonunun elektron diziliminden daha kararlı yapıda olduğundan ikinci iyonlaşma enerjisi $_{12}Mg^+$ iyonunun ikinci iyonlaşma enerjisinden daha büyüktür.

Buna göre ikinci iyonlaşma enerji karşılaştırılması


$_{11}Na^+ > {}_{13}Al^+ > {}_{12}Mg^+$ şeklindedir.

1.8. Alıştırma

$_4Be$, $_5B$, $_9F$ atomlarının birinci ve ikinci iyonlaşma enerji değerlerini karşılaştırınız.

1.9. Alıştırma

$_9F^-$, $_{10}Ne$, $_{11}Na^+$ taneciklerinden bir elektron koparmak için gerekli enerjileri karşılaştırınız.

Elektron İlgisi

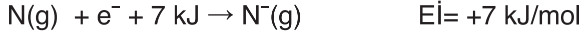
Elementlerin özelliklerini etkileyen faktörlerden biri de elementlerin elektron alma isteğidir. Periyodik sistemdeki gruplarda yukarıdan aşağıya inildikçe çekirdek yükü ve atom yarıçapı arttığından elementlerin elektron alma isteği azalır. Periyodik sistemde periyotlarda soldan sağa doğru gidildikçe elementlerin, atom yarıçapı azalırken elektron alma isteği artar. Metallerin elektron alma isteği düşük, ametallerin ise yüksektir.

Gaz hâlindeki nötr bir atomun bir elektron alması sırasındaki enerji değişimine **elektron ilgisi** denir. Elektron ilgisi Eİ ile gösterilir. Atomların elektron ilgileri, periyotlarda soldan sağa doğru gidildikçe genellikle artarken gruplarda yukarıdan aşağı doğru inildikçe genellikle azalır.

Elementlerin elektron ilgileri pozitif (+) veya negatif (-) bir değerdir. Bir atoma elektron verildiğinde enerji açığa çıkıyorsa atomun elektron ilgisi negatif, enerji alınıyorsa atomun elektron ilgisi pozitif bir değerdir. Elektron ilgisi bu durumda endotermik ya da ekzotermik olabilir.

$F(g) + e^- \rightarrow F^-(g) + 328\ kJ$ Eİ= -328 kJ/mol

$Cl(g) + e^- \rightarrow Cl^-(g) + 349\ kJ$ Eİ= -349 kJ/mol


$N(g) + e^- + 7\ kJ \rightarrow N^-(g)$ Eİ= +7 kJ/mol

Atomların elektron ilgileri için daha büyük ya da daha küçük gibi kullanılan ifadeler bir elektron kazanmaya karşı yüksek ilgisini kastetmektedir. Düşük elektron ilgisi değeri, küçük negatif değer olarak belirtilir. Periyodik sistemde elektron ilgisi en büyük element klordur. Klor, 1 elektron aldığında dışarıya 349 kJ/mol enerji açığa çıkarken flor 1 elektron aldığında dışarıya 328 kJ/mol enerji açığa çıkar.

A grubu elementlerinin elektron ilgileri Tablo 1.9'da verilmiştir. Tablodaki elektron ilgileri incelendiğinde elektron ilgisi hakkında genellemeler yapmak iyonlaşma enerjilerindeki kadar kolay değildir.

Tablo 1.9: *A Grubu Elementlerinin Elektron İlgileri*

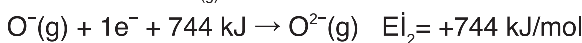
1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A
H -72.8							He >0
Li -59.6	Be >0	B -26.7	C -121.8	N +7	O -141.0	F -328.0	Ne >0
Na -52.9	Mg >0	Al -42.5	Si -133.6	P -72	S -200.4	Cl -349.0	Ar >0
K -48.4	Ca -2.37	Ga -28.9	Ge -119.0	As -78	Se -195.0	Br -324.6	Kr >0
Rb -46.9	Sr -5.03	In -28.9	Sn -107.3	Sb -103.2	Te -190.2	I -295.2	Xe >0
Cs -45.5	Ba -13.95	Tl -19.2	Pb -35.1	Bi -91.2	Po -186	At -270	Rn >0

Periyodik sistemin sağ tarafındaki küçük yarıçaplı atomlar (17. grup), çok büyük negatif elektron ilgisine sahiptir. Bir grupta aşağı inildikçe elektron ilgi değerleri, daha az negatif olma eğilimindedir. Ancak 15, 16 ve 17. grup elementlerinden N, O, F gibi küçük atomların elektron ilgi değerleri oldukça farklılık gösterir. Bu küçük boyutlu atomların dış katmanlarındaki elektronlar, yeni katılacak elektrona karşı güçlü bir itme kuvveti gösterir. Bu nedenle elektronun atoma bağlanması beklenildiği kadar kolay olmaz.

Bazı atomların elektron alma eğilimi yoktur. Bu durum soy gazlarda görülür. Soy gazlarda son katman orbitalleri dolu olduğundan eklenecek elektron bir sonraki kabuğun boş orbitallerine girmek zorundadır. Bu durum, kararlı yapılarından dolayı soy gazların elektron ilgileri olmadığını açıklar.

Atomların ikinci elektron ilgileri pozitif bir değerdir. Bunun nedeni eklenen elektron nötr bir atoma değil negatif yüklü bir iyona yaklaştığı içindir. Elektron ile iyon arasında güçlü bir itme meydana gelir ve sistemin enerjisi artar.

$O(g) + 1e^- \rightarrow O^-_{(g)} + 141\ kJ$ $Eİ_1$= -141 kJ/mol


$O^-(g) + 1e^- + 744\ kJ \rightarrow O^{2-}(g)$ $Eİ_2$= +744 kJ/mol

Oksijenin ikinci elektron ilgisinin yüksek pozitif değeri, gaz hâlinde O^{2-} iyonunun oluşma ihtimalinin pek mümkün olmadığını göstermektedir.

Örnek

Gaz hâlindeki X ve Y atomlarına 1 elektron verildiğinde açığa çıkan enerji miktarı X < Y şeklinde olduğuna göre X ve Y atomlarından hangisinin elektron ilgisi daha fazladır?

Çözüm

Elektron ilgisi, nötr bir atoma 1 elektron ilave edilme sırasındaki enerji değişimidir. Bir atom, elektron aldığında ne kadar fazla enerji açığa çıkarsa atomun elektron ilgisi o kadar fazladır. Buna göre elektron ilgisi X < Y şeklindedir.

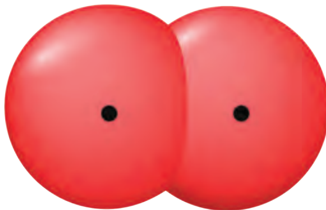
1.10. Alıştırma

Periyodik sistemde üçüncü periyotta bulunan atomlardan X metal, Y ametal ve Z soy gaz olduğuna göre X, Y ve Z'nin elektron ilgilerini karşılaştırınız.

Elektronegatiflik

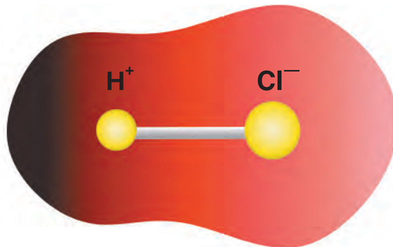
Bir atomun bağ yapan elektronlarını kendine çekme yeteneğine (atomun bağ elektronlarına sahip çıkma isteğine) **elektronegatiflik** denir. Elektronegatiflik iyonlaşma enerjisi, elektron ilgisine bağlı bir büyüklüktür ve doğrudan ölçülemez. Elektronegatiflik değerleri elektron ilgisi ve iyonlaşma enerjisi değerlerinden hesaplanır.

Periyodik sistemde periyotlarda soldan sağa gidildikçe elektronegatiflik genellikle artarken gruplarda yukarıdan aşağı inildikçe genellikle azalır. Elektronegatiflik değerleri birçok maddenin yapı ve özelliklerinin anlaşılmasına yardımcı olur. Örneğin bileşiklerdeki oluşan bağların polar ya da apolar olduğu bağı oluşturan atomların elektronegatiflik farkına bakılarak anlaşılır. İki atom arası elektronegatiflik farkı artarsa bağın polarlığı ve oluşan bileşiğin iyonik karakteri artar.



Görsel 1.27: *H_2 molekülünün elektrostatik potansiyel haritası*

Elektronegatiflik bileşiklerdeki bir atomun yükseltgenme basamağını da belirlemeye yardımcı olur. H_2 molekülünü oluşturan hidrojen atomlarının elektronegatiflik değerleri aynı olduğundan bağı oluşturan elektronlar, iki atom tarafından eşit kuvvetle çekilir. Bu molekülde atomlar arasında elektronegatiflik farkı sıfır olup bağ ve molekül apolardır. Ayrıca H_2 molekülünde yük yoğunluğu molekülün her tarafına eşit olarak dağılmıştır (Görsel 1.27).



Görsel 1.28: *HCl molekülünün elektrostatik potansiyel haritası*

Görsel 1.28'de HCl molekülünde hidrojenin elektronegatiflik değeri 2,1 iken klorun elektronegatiflik değeri 3,0'dır. Molekülde bağ elektronlarını klor atomu kendine daha çok çektiği için molekülün klor tarafında elektron yoğunluğu daha fazladır. Bu nedenle HCl molekülünün klor tarafı kısmen negatif, hidrojen tarafı kısmen pozitif olur. Elektronegatiflik farkı 3-2,1 = 0,9 olduğundan oluşan bağ polar kovalent bağdır.

Molekülde elektriksel yük yoğunluğu sıfır olmadığı için molekül polardır. Aynı zamanda klorun yükseltgenme basamağı -1, hidrojenin yükseltgenme basamağı +1 olur. Periyodik sistemde bazı elementlerin elektronegatiflik değerleri Tablo 1.10'da verilmiştir.

Tablo 1.10: *Atomların Pauling Elektronegatiflik Değerleri*

Elektronegatiflik artar. (soldan sağa)

Elektronegatiflik artar. (aşağıdan yukarıya)

1A	2A	3B	4B	5B	6B	7B	8B	8B	8B	1B	2B	3A	4A	5A	6A	7A	8A
H 2,1																	He
Li 1,0	Be 1,6											B 2,0	C 2,5	N 3,0	O 3,5	F 4,0	Ne
Na 0,9	Mg 1,2											Al 1,5	Si 1,8	P 2,1	S 2,5	Cl 3,0	Ar
K 0,8	Ca 1,0	Sc 1,3	Ti 1,5	V 1,6	Cr 1,6	Mn 1,5	Fe 1,8	Co 1,9	Ni 1,9	Cu 1,9	Zn 1,6	Ga 1,6	Ge 1,8	As 2,0	Se 2,4	Br 2,8	Kr
Rb 0,8	Sr 1,0	Y 1,2	Zr 1,4	Nb 1,6	Mo 1,8	Tc 1,9	Ru 2,2	Rh 2,2	Pd 2,2	Ag 1,9	Cd 1,7	In 1,7	Sn 1,8	Sb 1,9	Te 2,1	I 2,5	Xe
Cs 0,7	Ba 0,9	La 1,0	Hf 1,3	Ta 1,5	W 1,7	Re 1,9	Os 2,2	Ir 2,2	Pt 2,2	Au 2,4	Hg 1,9	Tl 1,8	Pb 1,9	Bi 1,9	Po 2,0	At 2,1	Rn

Örnek

$_{13}Al$, $_{17}Cl$, $_{20}Ca$ atomlarının elektronegatiflik değerini karşılaştırınız.

Çözüm

$_{13}Al$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^1$ — 3. periyot 3A grubu

$_{17}Cl$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$ — 3. periyot 7A grubu

$_{20}Ca$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2$ — 4. periyot 2A grubu

Periyodik sistemde aynı periyotta soldan sağa gidildikçe atomların elektronegatifliği artarken grupta yukarıdan aşağı inildikçe atomların elektronegatifliği azalır. Buna göre atomların elektronegatiflik değerleri $_{17}Cl > _{13}Al > _{20}Ca$ şeklindedir.

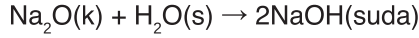
1.11. Alıştırma

Metallerin, ametallerin ve soy gazların elektronegatiflik değerlerini yorumlayınız?

Oksit ve Hidroksit Bileşiklerinin Asitlik/Bazlık Eğilimleri

Periyodik sistemdeki elementlerin asitlik ve bazlık karakterleri oksit ve hidroksit bileşikleri üzerinden incelenir. Ametallerin oksit ve hidroksit bileşikleri genellikle asidik özellik gösterirken metallerin oksit ve hidroksit bileşikleri genellikle bazik özellik gösterir.

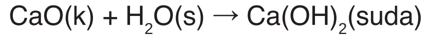
Na_2O, K_2O, CaO, MgO, SrO, BaO, FeO, Fe_2O_3, CuO, Cu_2O … gibi metal oksitler bazik özellik gösterir. Bazik oksitler, su ile etkileştiklerinde baz oluşturur ve oluşan baz suda iyonlaşarak suya hidroksit (OH^-) iyonu verir.



$Na_2O(k) + H_2O(s) \rightarrow 2NaOH(suda)$

Oluşan NaOH suda

$NaOH(suda) \rightarrow Na^+(suda) + OH^-(suda)$ şeklinde iyonlaşarak bazik çözelti oluşturur.



$CaO(k) + H_2O(s) \rightarrow Ca(OH)_2(suda)$

Oluşan $Ca(OH)_2$ suda

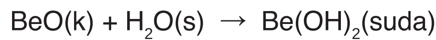
$Ca(OH)_2(suda) \rightarrow Ca^{2+}(suda) + 2OH^-(suda)$ şeklinde iyonlaşarak bazik çözelti oluşturur.

Periyodik sistemde grupta yukarıdan aşağı inildikçe elementlerin hidroksit bileşiklerinin bazlık kuvveti artar. Bu bileşiklerde hidroksit grubunun (OH^-) bağlı olduğu merkez atomun atom yarıçapı artarken elektronegatifliği azalır. Merkez atom O – H bağındaki elektronları zayıf kuvvetle çektiği için O – H bağında kopma olmaz, metal – OH arasındaki etkileşim bozularak hidroksit iyonu açığa çıkar. Bu nedenle metalin elektronegatifliği azaldıkça – OH vermesi kolaylaşarak bazlık kuvveti artar.

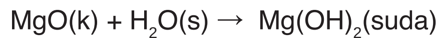
1A grubu metallerinin hidroksit bileşiklerinin hepsi kuvvetli bazdır. 2A grubu elementlerinin elektronegatiflik değerleri Tablo 1.11'de verilmiştir. 2A grubunda bulunan metallerden BeO amfoter özellik gösterir. MgO, CaO, SrO, BaO bazik özellik gösterir. Bu oksitler su ile etkileştiklerinde oluşan hidroksit bileşiklerinde $Be(OH)_2$ amfoter, $Mg(OH)_2$ zayıf baz, $Ca(OH)_2$, $Sr(OH)_2$ ve $Ba(OH)_2$ kuvvetli baz özelliği gösterir.

Tablo 1.11: *2A Grubu Elementlerinin Elektronegatiflik Değerleri*

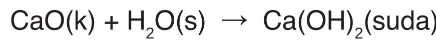
2A	Elektronegatiflik
$_{4}Be$	1,6
$_{12}Mg$	1,2
$_{20}Ca$	1,0
$_{38}Sr$	1,0
$_{56}Ba$	0,9



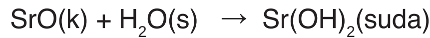
$BeO(k) + H_2O(s) \rightarrow Be(OH)_2(suda)$



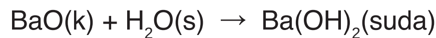
$MgO(k) + H_2O(s) \rightarrow Mg(OH)_2(suda)$



$CaO(k) + H_2O(s) \rightarrow Ca(OH)_2(suda)$



$SrO(k) + H_2O(s) \rightarrow Sr(OH)_2(suda)$



$BaO(k) + H_2O(s) \rightarrow Ba(OH)_2(suda)$

Bazlık kuvveti artar.

Periyodik cetvelde periyotlarda soldan sağa gidildikçe elementlerin oksit ve hidroksit bileşiklerinin asitlik kuvveti artar. Bu bileşiklerde hidroksit (O – H) grubunun bağlı olduğu merkez atomun atom yarıçapı küçülürken, elektronegatifliği artar ve merkez atom O – H bağındaki elektronlara daha çok çekim uygular. Böylece merkez atom O – H bağının kopmasına neden olarak H^+ iyonu açığa çıkmasını sağlar.

Ametallerin oksijence zengin oksit bileşikleri asidik karakterlidir. NO_2, N_2O_3, N_2O_5, SO_2, SO_3, CO_2, P_4O_{10} gibi ametal oksitleri su ile etkileştiklerinde asitleri oluşturur.

$$CO_2(g) + H_2O(s) \rightarrow H_2CO_3(suda) \rightarrow 2H^+(suda) + CO_3^{2-}(suda)$$

$$SO_3(g) + H_2O(s) \rightarrow H_2SO_4(suda) \rightarrow 2H^+(suda) + SO_4^{2-}(suda)$$

3. periyotta soldan sağa doğru gidildikçe oksit ve hidroksit bileşiklerinin asidik karakteri artarken bazlık karakteri azalır.

Bazlık kuvveti artar. ← Amfoter ↓ Asitlik kuvveti artar. →

Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl

3. periyottaki bu elementlerden Na_2O, MgO, NaOH ve $Mg(OH)_2$ bileşikleri bazik, Al_2O_3, $Al(OH)_3$ amfoter, SiO_2, P_4O_{10}, SO_3, Cl_2O_7,$P(OH)_5$, $S(OH)_6$, $Cl(OH)_7$ bileşikleri asidik özellik gösterir.

Bilgi Kutusu

Ametallerin oksijence fakir olan ve oksijen sayısı 1 olan oksitleri N_2O, CO, NO nötr özellik gösterir. Nötr oksitler su, asit ve bazlarla tepkimeye girmez.

Bilgi Kutusu

Amfoter metallerinin kendisi, oksit ve hidroksit bileşikleri amfoter özellik gösterir. ZnO, $Zn(OH)_2$ gibi amfoter oksit ve hidroksitler asit ve bazlarla tepkimeye girerek tuz ve su oluştururlar.

Örnek

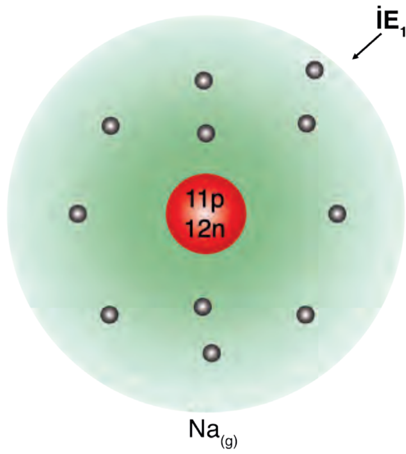
Aşağıda verilen hidroksit ve oksit bileşiklerini nötr, amfoter, asit ve baz olarak sınıflandırınız. ($_7N$, $_{13}Al$, $_{16}S$, $_{19}K$, $_{20}Ca$)

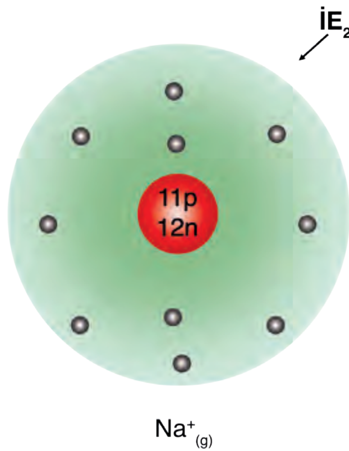
a) SO_3 b) NO c) Al_2O_3 ç) CaO d) KOH e) N_2O_3

Çözüm

Verilen bileşiklerdeki O, N, S, H elementleri ametal, Al, K ve Ca elementleri metaldir. Ametallerin oksijence zengin bileşikleri genellikle asidik, oksijen sayısı bir olanlar genellikle nötr özellik gösterir. Metallerin oksitleri ve hidroksitleri genellikle bazik özellik gösterir. Amfoter metallerin oksitleri de amfoter özellik gösterir. Buna göre bileşikler aşağıdaki şekilde sınıflandırılır.

a) SO_3: Asidik oksit
b) NO: Nötr oksit
c) Al_2O_3: Amfoter oksit
ç) CaO: Bazik oksit
d) KOH: Baz
e) N_2O_3: Asidik oksit





$İE_1 < İE_2$

***Görsel 1.29:** Sodyum atomunda birinci ve ikinci iyonlaşma enerjisi ile kopan elektronlar*

c) Ardışık İyonlaşma Enerjilerinin Grup Numarasıyla İlişkisi

Bir elementte elektronlar aynı enerji seviyesinden sırayla koparıldığında bu elektronlar için harcanan iyonlaşma enerjileri arasındaki artış farkı yaklaşık 1,5 ile 3 kat arasıdır. Değerlik elektronları aynı enerji seviyesinde bulunduğundan elementlerin değerlik elektronlarını koparmak için gerekli enerjileri arasındaki artış farkı da 1,5 ile 3 kat arasıdır. Elementin değerlik elektronları koparıldıktan sonraki elektron bir alt enerji seviyesinden ve soy gaz elektron düzeninden koparıldığı için iyonlaşma enerjisinde aşırı bir artış olur. Bu aşırı artış en az 3,5 kattan fazladır. A grubu elementleri için ardışık iyonlaşma enerjileri arasındaki aşırı farktan yararlanarak elementin;

- Değerlik elektron sayısı,
- Değerliği,
- Grup numarası,
- Bir başka element ile yapacağı kararlı bileşik formülleri bulunabilir.

Tablo 1.12 incelendiğinde sodyumun (Na) birinci ve ikinci iyonlaşma enerjileri arasındaki fark yaklaşık 9 kattır. Sodyum elementinde ilk koparılan elektron üçüncü enerji seviyesinde, ikinci koparılan elektron ise ikinci enerji seviyesindeki soy gaz elektron düzeninden kopar (Görsel 1.29). Bu nedenle $İE_2$ ile $İE_1$ arası ardışık iyonlaşma enerjleri farkı çok yüksektir. Diğer ardışık iyonlaşma enerjileri arasındaki fark normal aralıktadır. Sodyum elementinde bu 9 kat yüksek enerji farkıyla kopan elektron değerlik elektronu değildir. Sodyumun değerlik elektron sayısı 1 olup sodyum elementi 1A grubunda bulunur.

Magnezyum elementinde ardışık iyonlaşma enerjileri arasındaki aşırı fark $İE_2$ ile $İE_3$ arasında görüldüğünden magnezyum elementinin değerlik elektron sayısı 2 olup magnezyum elementi 2A grubunda bulunur.

***Tablo 1.12:** Bazı A Grubu Elementlerinin Elektron Dizilimi ve İlk Dört İyonlaşma Enerjileri*

Element	Elektron dizilimi	$İE_1$ (kJ/mol)	$İE_2$ (kJ/mol)	$İE_3$ (kJ/mol)	$İE_4$ (kJ/mol)	Değerlik Elektron Sayısı	Grup Numarası
$_{11}Na$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$	496	4560	6900	9540	1	1A
$_{12}Mg$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2$	738	1450	7730	10500	2	2A
$_{13}Al$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^1$	578	1820	2750	11600	3	3A

Alüminyumun $İE_2$ ile $İE_1$ arasındaki fark yaklaşık 3 ile 3,5 kat arasındadır. İyonlaşma enerjilerindeki yüksek enerji farkının nedeni ise koparılan ikinci elektronun aynı katmandan olmasına rağmen $3s^2$ kararlı elektron diziliminden kopmasıdır. Alüminyumun ardışık iyonlaşma enerjilerinde aşırı derecede iyonlaşma enerjisi ile kopan elektron $İE_3$ ile $İE_4$ arasındadır. Bu nedenle alüminyumun elementinin değerlik elektron sayısı 3 olup alüminyum elementi 3A grubunda bulunur.

Periyodik sistemdeki ilk 20 elementin iyonlaşma enerjileri kJ/mol olarak Tablo 1.13'te verilmiştir.

Tablo 1.13: *Periyodik Sistemde Atom Numarası 20'ye Kadar Olan Elementlerin İyonlaşma Enerjileri (kJ/mol)*

Element	$İE_1$	$İE_2$	$İE_3$	$İE_4$	$İE_5$	$İE_6$
$_1H$	1312					
$_2He$	2373	5251				
$_3Li$	520	7300	11815			
$_4Be$	899	1757	14850	21005		
$_5B$	801	2430	3660	25000	32820	
$_6C$	1086	2350	4620	6220	38000	47261
$_7N$	1400	2860	4580	7500	9400	53000
$_8O$	1314	3390	5300	7470	11000	13000
$_9F$	1680	3370	6050	8400	11000	15200
$_{10}Ne$	2080	3950	6120	9370	12200	15000
$_{11}Na$	495,9	4560	6900	9540	13400	16600
$_{12}Mg$	738,1	1450	7730	10500	13600	18000
$_{13}Al$	577,9	1820	2750	11600	14800	18400
$_{14}Si$	786,3	1580	3230	4360	16000	20000
$_{15}P$	1012	1904	2910	4960	6240	21000
$_{16}S$	999,5	2250	3360	4660	6990	8500
$_{17}Cl$	1251	2297	3820	5160	6540	9300
$_{18}Ar$	1521	2666	3900	5770	7240	8800
$_{19}K$	418,7	3052	4410	5900	8000	9600
$_{20}Ca$	589,5	1145	4900	6500	8100	11000

Örnek

Aşağıda baş grupta bulunan X, Y, Z ve T elementlerinin ilk beş iyonlaşma enerjileri (kJ/mol) verilmiştir:

Element	**$İE_1$**	**$İE_2$**	**$İE_3$**	**$İE_4$**	**$İE_5$**
X	520	7300	11815	-	-
Y	590	1145	4900	6500	8100
Z	786	1580	3230	4360	16000
T	801	2430	3660	25000	32820

Yukarıda verilen iyonlaşma enerji değerlerine göre

a) Elementlerin değerlik elektron sayılarını bulunuz.

b) Elementlerin grup numaralarını bulunuz.

c) X ve Y elementlerinin $_9F$ elementi ile yapacağı kararlı bileşik formüllerini yazınız.

ç) X elementinin atom numarası kaçtır?

Çözüm

Tablodaki ardışık iyonlaşma enerji değerlerine bakıldığında aşırı farklar tespit edilir.

Element	**$İE_1$**		**$İE_2$**		**$İE_3$**		**$İE_4$**		**$İE_5$**
X	520	/	7300		11815		-		-
Y	590		1145	/	4900		6500		8100
Z	786		1580		3230		4360	/	16000
T	801		2430		3660	/	25000		32820

X elementinde iyonlaşma enerjisindeki aşırı fark $İE_1 – İE_2$,

Y elementinde $İE_2 – İE_3$, Z elementinde $İE_4 – İE_5$,

T elementinde $İE_3 – İE_4$ arasındadır.

a) Bundan dolayı elementlerin değerlik elektron sayısı X = 1, Y = 2, Z = 4, T = 3 olur.

b) Elementlerin değerlik elektron sayısı grup numarasına eşit olduğundan X: 1A, Y: 2A, Z: 4A, T: 3A grubunda bulunur.

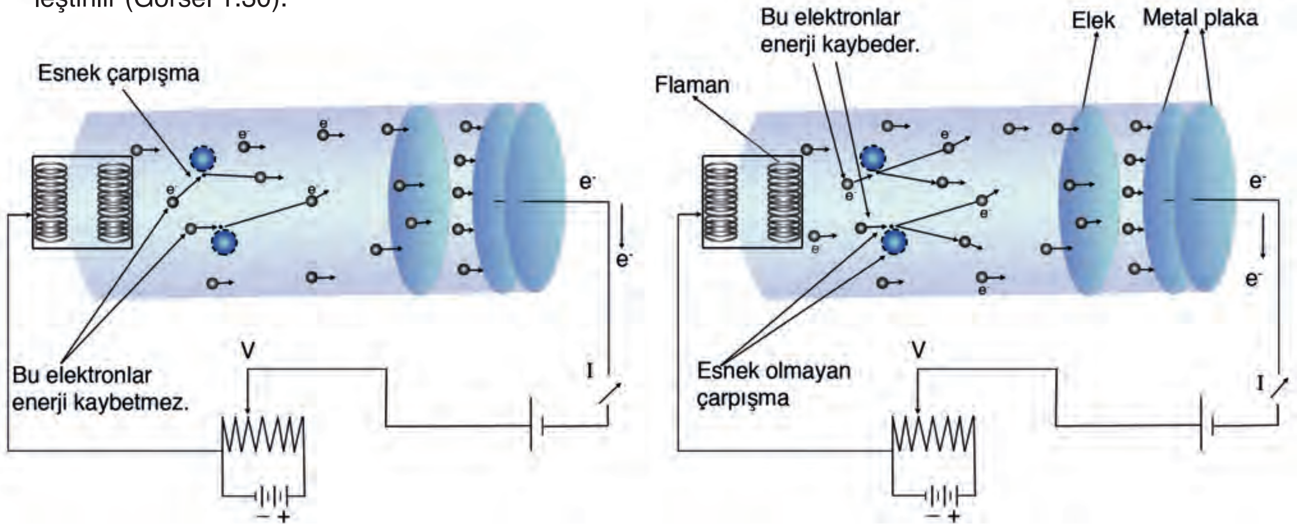
c) X elementinin değerliği +1, Y elementinin değerliği +2'dir. $_9F$ elementi bileşiklerinde -1 değerliğe sahiptir. Bu nedenlerden dolayı X ve Y elementleri $_9F$ ile XF ve YF_2 bileşiklerini oluşturur.

ç) Bir elementin iyonlaşma enerjisi sayısı nötr hâldeki elektron sayısı kadardır. X elementinin 3 tane iyonlaşma enerjisi olduğundan 3 elektronu vardır ve X elementinin atom numarası 3'tür.

ç) İyonlaşma Enerjisi, Elektron İlgisi ve Elektronegatifliğin Ölçülmesi

Atomların iyonlaşma enerjileri, elektron ilgileri ve elektronegatiflik değerleri nasıl ölçülür? Atomların periyodik özelliklerinin ölçülmesinde atomların hangi özelliklerinden yararlanılır?

Atomun iyonlaşma enerjisi, gaz boşaltım tüpüne doldurulmuş nötr gaz hâldeki elementin iyonlaştırılmasıyla hesaplanır. İyonlaşma enerjisinin ölçülmesinde Crooks tüpüne benzer bir aygıt kullanılır. Aygıtta katot olarak elektron yayan tungsten metalinden yapılmış bir flaman ve anot olarak da bir metal plaka kullanılır. Metal plakanın önüne elek şeklinde düşük enerjili elektronları yakalamaya yarayan bir levha yerleştirilir (Görsel 1.30).



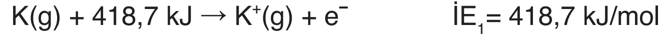
***Görsel 1.30:** Elementlerin iyonlaşma enerjisinin ölçülmesinde kullanılan aygıt*

Tüp içine düşük basınçta iyonlaşma enerjisi ölçülmek istenen element atomu gaz hâline getirilerek doldurulur. Örneğin tüpün içine potasyum (K) elementi gaz hâline getirilerek konur ve elektrotlara yüksek gerilim uygulanır. Elektrotlara yüksek gerilim uygulanmasıyla flamandan elektronlar kopar ve eleğe doğru hızlanarak ilerler.

Başlangıçta uygulanan gerilim ile kopan elektronların enerjisi potasyum atomunun en dış enerji seviyesindeki 1 elektronu koparmak için yeterli değildir. Bu elektronların atomlarla çarpışmaları esnek olduğundan elektronlar enerji kaybına uğramaz. Enerji kaybına uğramayan elektronlar yeterli enerjiye sahip olduğundan elekten geçerek anota ulaşır. Bu sırada devreden akım geçmeye başlar. Devreden geçen gerilim yavaş yavaş arttırıldığında devreden geçen akım şiddeti artar. Gerilimin artmasıyla flamandan kopan elektronların hızı ve kinetik enerjileri de artar. Bu şekilde elektronlar potasyum atomundan 1 elektronu koparabilecek yeterli enerjiye sahip olur.

Potasyum atomlarından elektron kopması sırasında katottan gelen elektron, enerjisinin bir kısmını atomdan kopardığı elektrona aktarır. Böylece katottan gelen elektronların enerjileri düşerek elekten geçemez. Elektronların enerjisi düşünce anota ulaşan elektron sayısı azalır ve akım şiddetinde ani ve büyük bir azalma meydana gelir. Flamandan kopan elektronların enerjisi elektron volt (e.V), dış devreden geçen akım şiddetinde meydana gelen ani değişme anındaki gerilim değerinden hesaplanabilir. 1 mol atomun iyonlaşma enerjisi $\text{İE} = e.V.N_A$ bağıntısı ile hesaplanır. Formüldeki e, elektronun yükü; V, uygulanan gerilim; N_A, Avogadro sayısıdır. Bu hesaplanan enerji atomun birinci iyonlaşma enerjisine eşittir. İyonlaşma enerjileri 1 elektron için mol başına e.V/mol, kcal/mol, kj/mol olarak verilir.

K elementinin gaz hâli için katot tüpü yardımıyla hesaplanan iyonlaşma enerji değerleri



$K(g) + 418,7\ kJ \rightarrow K^{+}(g) + e^{-}$ İE_1= 418,7 kJ/mol

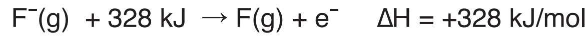
$K^{+}(g) + 3052\ kJ \rightarrow K^{2+}(g) + e^{-}$ İE_2= 3052 kJ/mol'dür.

Elektron ilgisi, gaz hâline gelmiş bir atoma 1 elektron katılması sırasında gerçekleşen enerji değişimidir. Elementlerin elektron ilgileri, atoma elektron ilavesi veya eksi yüklü bir iyondan elektron uzaklaştırılması sırasındaki enerji değişiminden ölçülür. Elementlerin birinci elektron ilgileri pozitif ya da negatif bir değer olabilir.

$F(g) + e^{-} \rightarrow F^{-}(g) + 328\ kJ$ Eİ= -328 kJ/mol

Termodinamik olarak 1 mol flor atomunun 1 mol elektron alması sırasındaki enerji değişimi - 328 kJ/mol'dür. Flor atomu 1 mol elektron alırken dışarıya 328 kj enerji verir. Bu enerji değeri florun elektron ilgisidir.

Florun elektron ilgisi (-) yüklü flor iyonunun bir elektron vermesi sırasındaki enerji değişiminden de hesaplanır.



$F^{-}(g) + 328\ kJ \rightarrow F(g) + e^{-}$ $\Delta H = +328$ kJ/mol

Bu entalpi (enerji, ΔH) değişiminin (-) değeri olan -328 kJ/mol flor atomunun elektron ilgisidir. Elektronegatiflik, bir atomun moleküldeki bağ elektronlarını kendine çekme gücü olarak tanımlanır. Bu tanıma göre elektronegatiflik, bir atomun yalnız başına bulunduğu hâle ait bir özelliği değildir. Aksine molekül içinde bulunan atomun özelliğidir. Bir atomun elektronegatifliği doğrudan ölçülemez.

Atomların elektronegatiflik değerleri iyonlaşma enerjisi, elektron ilgisi, değerlik elektron sayısı, kovalent yarıçapı, yükseltgenme basamağı gibi özelliklerden yararlanarak birçok bilim insanı tarafından hesaplanmıştır.

Elementlerin elektronegatiflik değerlerini bağ enerjilerini kullanarak ilk defa Linus Pauling (Linus Pauling) hesaplamıştır. Pauling elektronegatifliğin bir moleküldeki bir atomun diğer atomdan elektron çekme gücü olduğu düşüncesini ileri sürmüştür. Pauling'e göre örneğin HF molekülündeki H – F bağının bağ enerjisi, molekülü oluşturan H – H ve F – F bağlarının bağ enerjilerinin ortalamasından daha yüksek bir değerdir. Ortalama enerjiden fazla olan enerji H ve F arasındaki elektrostatik çekimden kaynaklanır. Pauling HF molekülündeki hidrojen atomunun elektronegatifliğini, florun elektronegatfliği (EN_F) 4,0 olarak kabul ederek aşağıdaki formülle hesaplamıştır:

$$EN_F - EN_H = 0{,}1017 \sqrt{B_{H\text{-}F} - \frac{B_{F\text{-}F} + B_{H\text{-}H}}{2}}$$

Formülde B bağ enerjisini, EN elektronegatifliği gösterir.

$B_{H\text{-}H}$= 436 kJ/mol, $B_{F\text{-}F}$= 159 kJ/mol, $B_{H\text{-}F}$= 565 kJ/mol

EN_F = 4,0 olduğuna göre verilen değerler formülde yerine konulursa hidrojen atomunun elektronegatifliği yaklaşık 2,3 olarak bulunur.

1934 yılında Pauling'den iki yıl sonra Mulliken (Malıgen) atomların elektronegatifliklerinin iyonlaşma enerjileri ve elektron ilgileri ile ilgili bir değer olduğunu açıklamıştır. İyonlaşma enerjileri ve elektron ilgileri yüksek elementlerin yüksek elektronegatiflik değerine; iyonlaşma enerjileri ve elektron ilgileri düşük olan atomların düşük elektronegatiflik değerine sahip olduğunu belirtmiştir.

Mulliken'e göre bir atomun elektronegatifliği o atomun iyonlaşma enerjisi ve elektron ilgisi değerlerinin aritmetik ortalamasıdır.

Mulliken'e göre elektronegatiflik $EN = \frac{Eİ + İE}{2}$ formülü ile hesaplanır.

1958 yılında Allred (Olred) ve Rochow (Roça) elektronegatifliği bir atom çekirdeğinin değerlik elektronlarına (kovalent yarıçap uzaklığındaki elektrona) uyguladığı Coulomb çekim kuvveti olarak tanımlamıştır. Elektronun yükü, etkin çekirdek yükü ve elementin kovalent yarıçapı kullanılarak Allred-Rochow elektronegatiflik değerleri hesaplamıştır.

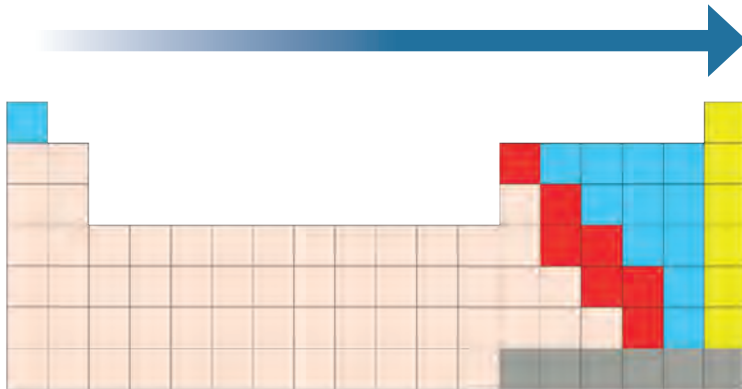
Elektronegatiflik değerlerinin belirlenmesinde birçok bilim insanı tarafından geliştirilen yöntemler ile hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalardan en çok kullanılanı Pauling elektronegatiflik değerleridir. Pauling elektronegatiflik eşelinde 0,7 ile 4,0 arasında değerler kullanılır. Periyodik sistemde elektronegatifliği en yüksek olan element flor (F: 4,0), en düşük olan element fransiyumdur (Fr: 0,7). Bu değerlerden anlaşılacağı üzere metallerin elektronegatiflik değerleri düşük, ametallerin elektronegatiflik değerleri yüksektir.

d) Periyodik Özelliklerin Değişim Eğilimlerini Bilişim Teknolojileri İle Açıklanması

Bilişim teknolojilerinden yararlanarak (animasyon, simülasyon, video vb.) periyodik özelliklerin değişim eğilimlerinin açıklanmasını yapınız. İlgili görsellere Millî Eğitim Bakanlığı Eğitim Bilişim Ağı **www.eba.gov.tr** adresinden ulaşılabilir.

Periyodik özelliklerin grup ve periyotlardaki değişimi aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- **Atom yarıçapı genellikle azalır.**
- **İyonlaşma enerjisi genellikle artar.**
- **Elektron ilgisi genellikle artar.**
- **Elektronegatiflik genellikle artar.**
- **Metalik özellik azalır, ametalik özellik artar.**
- **Oksit ve hidroksit bileşiklerinin asitlik kuvveti artar.**



- **Atom yarıçapı genellikle artar.**
- **İyonlaşma enerjisi azalır.**
- **Elektron ilgisi genellikle azalır.**
- **Elektronegatiflik genellikle azalır.**
- **Metalik özellik artar, ametalik özellik azalır.**
- **Oksit ve hidroksit bileşiklerinin asitlik kuvveti azalır.**

Metaller | Yarı metaller | Nükleer reaktörlerde elde edilen elementler
Ametaller | Soy gazlar

4. BÖLÜM

ELEMENTLERİ TANIYALIM

- *Atomların elektron dizilimi ile periyodik sistemdeki konumu ve özellikleri arasında nasıl bir ilişki vardır?*
- *Elementlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini atomların elektron dizilimi nasıl etkiler?*
- *Aynı grupta bulunan elementlerin kimyasal özelliklerinin benzer olmasının nedeni ne olabilir?*

Bilgi Kutusu

Helyum ($_{2}He$) atomunun değerlik elektron sayısı 2 olmasına rağmen 8A grubunda yer alır.

1.4.1. Elementlerin Periyodik Sistemdeki Konumu ile Özellikleri

Elektron dizilimi, elementlerin periyodik sistemdeki konumlarını ve özelliklerini belirler. En dış enerji seviyesinde bulunan elektronlar, elementlerin özelliklerini büyük oranda belirler. Periyodik sistem artan atom numarasına göre düzenlendiğinde aynı grupta yer alan elementlerin değerlik elektron sayılarının aynı olduğu görülür. Değerlik elektron sayıları aynı olan elementlerin kimyasal özellikleri benzerdir.

Elementlerin elektron diziliminde en son katmandaki orbital türüne göre s, p, d ve f bloklarına ayrılır. Bu bloklarda yer alan elementlerin metal/ametal karakteri, iyon yükleri, aktiflikleri ve yaptıkları kimyasal bağ tiplerinin elektron dizilimi ile ilişkisi aşağıda açıklanmıştır.

a) s, p, d Blok Elementlerinin Özellikleri

s Blok Elementleri

Periyodik sistemde s bloğunda 1A, 2A grubu elementleri ve 8A grubundaki He elementi yer alır. Bu elementlerin elektron diziliminde en dış enerji seviyesi s orbitalleri ile sonlanır. 1A grubu elementlerinin elektron dizilimi ns^1, 2A grubu elementlerinin elektron dizilimi ns^2 ile sonlanır. s bloğunda yer alan metallerin aktiflikleri oldukça yüksek olduğundan bileşik oluşturma eğilimleri oldukça yüksektir. Periyodik sistemin en aktif metalleri s bloğunda bulunur.

1A Grubu Elementleri (Alkali Metaller)

1A grubunda (1. grup) hidrojen dışındaki elementlere alkali metaller denir. Bu grupta sırasıyla H, Li, Na, K, Rb, Cs, Fr elementleri bulunur.

1A grubundaki hidrojen ametal olduğundan -1 ve +1 yükseltgenme basamağı alabilir. Hidrojen HCl, H_2O, HF, NH_3 gibi ametallerle oluşturduğu bileşiklerde +1 yükseltgenme basamağına sahip olur. Hidrojenin metallerle oluşturduğu bileşiklere hidrür bileşikleri denir. Hidrojen NaH, KH, CaH_2 gibi metallerle oluşturduğu bileşiklerde -1 yükseltgenme basamağına sahip olur.

1A grubundaki elementlerin elektron dizilimi
$\ldots ns^1$ şeklindedir (Tablo 1.14).

Tablo 1.14: *1A Grubu Elementlerinin Elektron Dizilimi*

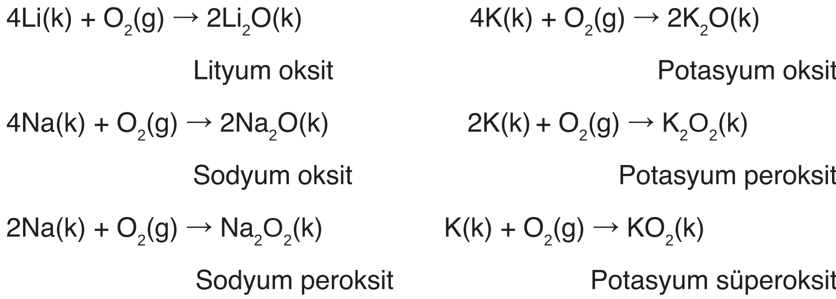
1A
$_{1}H: 1s^1$
$_{3}Li: [He]\ 2s^1$
$_{11}Na: [Ne]\ 3s^1$
$_{19}K: [Ar]\ 4s^1$
$_{37}Rb: [Kr]\ 5s^1$
$_{55}Cs: [Xe]\ 6s^1$
$_{87}Fr: [Rn]\ 7s^1$

Alkali metaller, en dışta bulunan ns orbitalindeki 1 elektronu kolaylıkla vererek kendinden bir önceki soy gaz elektron dizilimine ulaşır ve +1 yüklü katyon hâline gelirler.

1A grubu metalleri kolay elektron verebildiği için en aktif metallerdir. Bu nedenle alkali metaller doğada bileşikleri hâlinde bulunur. Hidrojen, ametallerle kovalent bağ yaparken metallerle genellikle iyonik bileşikler oluşturur. Hidrojenin lityumla oluşturduğu LiH bileşiğinin kovalent karakteri yüksektir. Hidrojenin diğer alkali metallerle oluşturduğu bileşikler ise iyonik karakterlidir.

Grupta yukarıdan aşağı inildikçe alkali metallerin atom yarıçapları ve elektron verme eğilimleri artarken iyonlaşma enerjileri azalır. Böylece yukarıdan aşağı inildikçe metalik özellikleri ve aktiflikleri artar. Alkali metaller, ametaller ile iyonik yapılı bileşikler oluşturur. Alkali metaller oda koşullarında saf olarak katı hâlde bulunur. Bu metaller bıçakla kesilebilecek kadar yumuşaktır. Grupta yukarıdan aşağıya inildikçe metalik bağ kuvveti zayıflar. Bu sebepten dolayı metallerin erime noktaları ve sertlikleri azalır (Tablo 1.15).

Alkali metaller, hava ile temas ettiklerinde havadaki oksijen ile tepkimeye girerek oksit, peroksit ve süperoksit bileşiklerini oluşturur.



$4Li(k) + O_2(g) \rightarrow 2Li_2O(k)$ — Lityum oksit

$4K(k) + O_2(g) \rightarrow 2K_2O(k)$ — Potasyum oksit

$4Na(k) + O_2(g) \rightarrow 2Na_2O(k)$ — Sodyum oksit

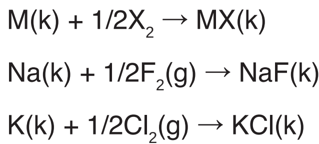
$2K(k) + O_2(g) \rightarrow K_2O_2(k)$ — Potasyum peroksit

$2Na(k) + O_2(g) \rightarrow Na_2O_2(k)$ — Sodyum peroksit

$K(k) + O_2(g) \rightarrow KO_2(k)$ — Potasyum süperoksit

Oluşan oksijenli bileşikler iyonik bağ içerir. 1A grubunun oksijenle oluşturduğu bileşiklerde oksijen; oksitlerde -2, peroksitlerde -1, süper oksitlerde -1/2 yükseltgenme basamağı alır.

1A grubu metalleri halojenlerle tepkimeye girerek MX tipi iyonik bileşikler oluşturur (M: metal, X: halojen).

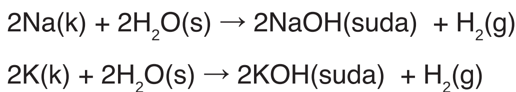


$M(k) + 1/2X_2 \rightarrow MX(k)$

$Na(k) + 1/2F_2(g) \rightarrow NaF(k)$

$K(k) + 1/2Cl_2(g) \rightarrow KCl(k)$

1A grubu metalleri çok aktif olduklarından sıcak ve soğuk suda tepkimeye girerek hidrojen gazı açığa çıkarırlar.



$2Na(k) + 2H_2O(s) \rightarrow 2NaOH(suda) + H_2(g)$

$2K(k) + 2H_2O(s) \rightarrow 2KOH(suda) + H_2(g)$

1A grubunun son elementi fransiyum kararsız çekirdek yapısına sahiptir. Bu nedenle radyoaktif bir elementtir. Fransiyum; ışın yayarak çok hızlı bozunarak başka elementlere dönüştüğünden doğada saf hâlde bulunmaz.

2A Grubu Elementleri (Toprak Alkali Metaller)

2A grubu (2. grup) elementlerine toprak alkali metaller denir. Bu grupta sırasıyla Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra elementleri bulunur.

2A grubundaki elementlerin elektron dizilimi
…ns^2 şeklindedir (Tablo 1.16).

Bilgi Kutusu

1A grubu metallerini saf hâlde bulundurmak için hava ile temasını önlemek gerekir. Bunun için 1A grubu metalleri genellikle gaz yağı içerisinde saklanır.

Tablo 1.15: *1A Grubu Elementlerinin Erime Noktası*

1A	Erime Noktası (°C)
$_{3}Li$	180
$_{12}Na$	97,8
$_{19}K$	63,7
$_{37}Rb$	38,9
$_{55}Cs$	28,4

Tablo 1.16: *2A Grubu Elementlerinin Elektron Dizilimi*

2A
$_{4}Be$: [He] $2s^2$
$_{12}Mg$: [Ne] $3s^2$
$_{20}Ca$: [Ar] $4s^2$
$_{38}Sr$: [Kr] $5s^2$
$_{56}Ba$: [Xe] $6s^2$
$_{88}Ra$: [Rn] $7s^2$

Tablo 1.17: *2A Grubu Elementlerinin Erime Noktası*

2A	Erime Noktası (°C)
$_{4}Be$	1278
$_{12}Mg$	649
$_{20}Ca$	839
$_{38}Sr$	769
$_{56}Ba$	725
$_{88}Ra$	700

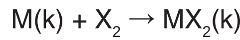
Toprak alkali metaller, en dışta bulunan ns orbitalindeki 2 elektronu kolaylıkla vererek kendinden bir önceki soy gaz elektron dizilimine ulaşırlar ve +2 yüklü katyon hâline gelir.

Gruplarda yukarıdan aşağı inildikçe toprak alkali metallerin, atom yarıçapları artar, iyonlaşma enerjileri azalır ve elektron verme eğilimleri artar. Böylece yukarıdan aşağı inildikçe metalik özellikleri ve aktiflikleri artar. Grupta bulunan berilyum kovalent karakterli bileşikler yaparken magnezyumun bazı bileşikleri kovalent karakterlidir. Beriyumun BeH_2, $BeCl_2$ gibi bileşikleri, magnezyumun MgH_2 bileşiği kovalent karakterlidir. Ca, Sr, Ba elementleri ametallerle iyonik yapılı bileşikler oluşturur.

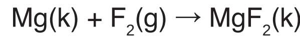
Toprak alkali metaller oda koşullarında saf olarak katı hâlde bulunur. Grupta yukarıdan aşağıya inildikçe metalik bağ kuvveti zayıflar. Böylelikle metallerin erime noktaları ve sertlikleri azalır (Tablo 1.17).

2A grubu elementleri metaller içerisinde kolay elektron verebildikleri için aktif metallerdir. 2A grubu elementlerinin aktifliği 1A grubu elementlerinin aktifliğinden daha azdır. Toprak alkali metaller, doğada bileşikleri hâlinde bulunur.

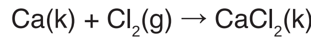
2A grubu metalleri halojenlerle tepkimeye girerek MX_2 tipi iyonik bileşikler oluşturur (M: metal, X: halojen).



$$M(k) + X_2 \rightarrow MX_2(k)$$

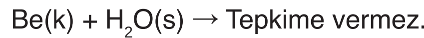


$$Mg(k) + F_2(g) \rightarrow MgF_2(k)$$

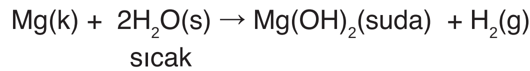


$$Ca(k) + Cl_2(g) \rightarrow CaCl_2(k)$$

2A grubu metalleri aktifliklerine bağlı olarak su ile tepkimeye girerek hidroksit bileşikleri oluşturur ve hidrojen gazı açığa çıkarır. Grupta yukarıdan aşağı aktiflikleri arttığından berilyum su ile tepkime vermez, magnezyum sıcak su ile Ca, Sr ve Ba elementleri soğuk ve sıcak su ile tepkime verir.



$$Be(k) + H_2O(s) \rightarrow \text{Tepkime vermez.}$$



$$Mg(k) + \underset{\text{sıcak}}{2H_2O(s)} \rightarrow Mg(OH)_2(suda) + H_2(g)$$

$$Ca(k) + 2H_2O(s) \rightarrow Ca(OH)_2(suda) + H_2(g)$$

p Blok Elementleri

Periyodik sistemde p bloğunda 3A, 4A, 5A, 6A, 7A ve 8A grubu (13, 14, 15, 16, 17, 18. grup) elementleri yer alır. Bu elementlerin elektron diziliminde en dış enerji seviyesi p orbitalleri ile sonlanır. Bu elementler, baş grup elementleri olup periyodik sistemin sağ tarafında bulunur. Değerlik elektronları s ve p orbitallerinde bulunur. p orbitallerinin enerjisi s orbitallerinden yüksektir. Atom çapları s blok elementlerinden daha küçük olduğundan elektron verme yatkınlıkları daha düşüktür. p blok elementleri bileşik oluştururken genellikle elektron alma eğilimindedir.

p bloğunda metal, ametal, yarı metal ve soy gazlar yer alır.

3A Grubu Elementleri (Toprak Metalleri)

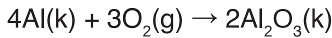
3A grubu (13. grup) elementlerine toprak metalleri denir. Bu grupta sırasıyla B, Al, Ga, In, Tl, Nh elementleri bulunur.

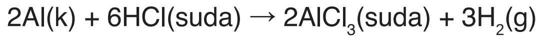
3A grubundaki elementlerin elektron dizilimi
$...ns^2\ np^1$; $...ns^2\ (n-1)d^{10}\ np^1$; $...ns^2\ (n-2)f^{14}\ (n-1)d^{10}\ np^1$ şeklindedir (Tablo 1.18).

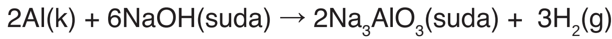
3A grubu elementlerinden bor, yarı metal; alüminyum, amfoter metal; diğer elementler, metaldir. Gruptaki elementler, benzer elektron dizilimine sahip olmasına rağmen baş kuantum sayısı artarken değerlik elektronları çekirdekten uzaklaşır. Çekirdeğin elektronlara uyguladığı çekim kuvveti azalır. Bu nedenle grupta yukarıdan aşağıya atom yarıçapı artarken iyonlaşma enerjisi azalarak elektron verme kolaylaşır. Böylece grupta yukarıdan aşağı inildikçe metalik karakter artar, ametalik karakter azalır.

Gruptaki bor elementi iyonik bileşikler oluşturmaz. Bor elementi BH_3, BCl_3, BI_3 gibi moleküler yapıda kovalent bileşikler oluşturur.

Alüminyum AlH_3 bileşiği kovalent karakterlidir. B ve Al elementi bileşiklerinde +3 yükseltgenme basamağına sahip olur. Alüminyumun katyon hâlinde iyon yükü +3'tür. Alüminyum oksijenle etkileşerek alüminyum oksit (Al_2O_3) bileşiğini oluşturur. Alüminyum metali amfoter olduğu için asitlerle ve kuvvetli bazlarla tepkimeye girer.


$$4Al(k) + 3O_2(g) \rightarrow 2Al_2O_3(k)$$


$$2Al(k) + 6HCl(suda) \rightarrow 2AlCl_3(suda) + 3H_2(g)$$


$$2Al(k) + 6NaOH(suda) \rightarrow 2Na_3AlO_3(suda) + 3H_2(g)$$

Gruptaki galyum (Ga), indiyum (In) ve talyum (Tl) elementleri bileşiklerinde +1, +3 yükseltgenme basamağı alabilir. Bu elementlerin +1 yükseltgenme basamağına sahip bileşikleri daha kararlıdır. Gruptaki son element nihonium (Nh) nükleer santrallerde keşfedilen yapay ve radyoaktif bir elementtir.

4A Grubu Elementleri

4A grubunda (14. grup) sırasıyla C, Si, Ge, Sn, Pb, Fl elementleri bulunur. Gruptaki karbon elementi ametal, silisyum ve germanyum elementi yarı metal, kalay ve kurşun elementi metal, flevorium elementi Rusya'daki bir nükleer santralde keşfedilen yapay radyoaktif bir elementtir.

4A grubundaki elementlerin elektron dizilimi
$...ns^2\ np^2$; $...ns^2\ (n-1)d^{10}\ np^2$; $...ns^2\ (n-2)f^{14}\ (n-1)d^{10}\ np^2$ şeklindedir (Tablo 1.19).

Grupta elementler benzer elektron dizilimine sahip olmasına rağmen baş kuantum sayısı artarken değerlik elektronlar çekirdekten uzaklaşır. Çekirdeğin elektronlara uyguladığı çekim kuvveti azalır. Bu nedenle grupta yukarıdan aşağıya atom yarıçapı artarken iyonlaşma enerjisi azalarak elektron verme kolaylaşır ve metalik karakter artar, ametalik karakter azalır.

Karbon elementi metallerle elektron alışverişi ile iyonik bileşikler oluştururken ametallerle elektron ortaklığıyla kovalent bileşikler oluşturur.

Tablo 1.18: *3A Grubu Elementlerinin Elektron Dizilimi*

3A
$_5B$: [He] $2s^22p^1$
$_{13}Al$: [Ne] $3s^23p^1$
$_{31}Ga$: [Ar] $4s^23d^{10}4p^1$
$_{49}In$: [Kr] $5s^24d^{10}5p^1$
$_{81}Tl$: [Xe] $6s^24f^{14}5d^{10}6p^1$
$_{113}Nh$: [Rn] $7s^25f^{14}6d^{10}7p^1$

Bilgi Kutusu

Yarı metallerin fiziksel özellikleri metallere, kimyasal özellikleri ametallere benzer.

Bilgi Kutusu

Asya'da keşfedilen ilk element olan 113. element için önerilen nihonium ismini Japoncada, "güneşin doğduğu yer" anlamındaki Nihon kelimesinden alır.

Tablo 1.19: *4A Grubu Elementlerinin Elektron Dizilimi*

4A
$_6C$: [He] $2s^22p^2$
$_{14}Si$: [Ne] $3s2^3p^2$
$_{32}Ge$: [Ar] $4s^2d^{10}4p^2$
$_{50}Sn$: [Kr] $5s^24d^{10}5p^2$
$_{82}Pb$: [Xe] $6s^24f^{14}5d^{10}6p^2$
$_{114}Fl$: [Rn] $7s^25f^{14}6d^{10}7p^2$

Karbon elementi potasyum elementi ile K_4C iyonik bileşiğini oluştururken karbon, 4 elektron alarak -4 iyon yüküne, potasyum elementi ise 1 elektron vererek +1 iyon yüküne sahip olur. Bu şekilde her iki element kararlı oktet elektron dizilimine ulaşır. Karbon elementi oksijen ile CO ve CO_2 kovalent bileşiklerini yaptığında sırasıyla +2 ve +4 yükseltgenme basamağını alır. Karbon +4 yükseltgenme basamağına sahip bileşiklerinde daha kararlıdır.

Silisyum SiO_2 gibi kararlı bileşiklerinde +4 yükseltgenme basamağına sahip olur. 4A grubundaki kalay ve kurşun elementleri bileşiklerinde +2 ve +4 yükseltgenme basamağına sahiptir. SnO, SnO_2 ve PbO, PbO_2 iyonik bileşiklerinde kalay ve kurşunun yükseltgenme basamakları sırasıyla +2 ve +4'tür. Kalay ve kurşun metallerinin aktifliği az olduğu için bu elementler su ile tepkime vermez. Fakat asitlerin sulu çözeltileri ile tepkimeye girdiklerinde hidrojen gazı açığa çıkarırlar.

Bilgi Kutusu

4A grubunda bulunan karbon elementinin değerlik elektron sayısının ve diğer karbon elementiyle bağ enerjisinin fazla olması karbon elementinin kendi atomları arasında çok sayıda bağ yapabilmesini sağlar.

5A Grubu Elementleri

5A grubunda (15. grup) sırasıyla N, P, As, Sb, Bi, Mc elementleri bulunur. Gruptaki azot ve fosfor elementleri ametal, arsenik ve antimon elementleri yarı metal, bizmut elementi metal, moscovium elementi yapay radyoaktif bir elementtir.

5A grubundaki elementlerin elektron dizilimi
$...ns^2\ np^3$;$...ns^2\ (n-1)d^{10}\ np^3$; $...ns^2\ (n-2)f^{14}\ (n-1)d^{10}\ np^3$ şeklindedir (Tablo 1.20).

***Tablo 1.20** 5A Grubu Elementlerinin Elektron Dizilimi*

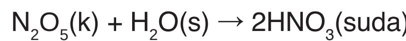
5A
$_{7}N$: [He] $2s^22p^3$
$_{15}P$: [Ne] $3s^23p^3$
$_{33}As$: [Ar] $4s^23d^{10}4p^3$
$_{51}Sb$: [Kr] $5s^24d^{10}5p^3$
$_{83}Bi$: [Xe] $6s^24f^{14}5d^{10}6p^3$
$_{115}Mc$: [Rn] $7s^25f^{14}6d^{10}7p^3$

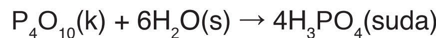
5A grubu elementleri küresel simetrik elektron dizilimine sahiptir. 5A grubundaki azot ve fosfor ametalleri bileşiklerinde oktet kuralına uyarken -3'ten +5'e kadar değişen yükseltgenme basamağına sahip olabilir. N elementi doğada N_2(g), fosfor elementi P_4(k) hâlde moleküler yapıda bulunur. Azot ve fosfor elementi metallerle oluşturduğu iyonik bileşiklerde ve hidrojenle yaptığı kovalent bileşikte -3 yükseltgenme basamağına sahip olur.

Azot elementi, sodyum elementi ile yaptığı iyonik bileşikte -3 yükseltgenme basamağına sahiptir. Oluşan Na_3N iyonik bileşiğinde 3 tane Na atomu 3s enerji seviyesindeki birer elektronunu N'un $2p^3$ orbitallerine vererek kararlı oktet yapısına ulaşır. Bileşikte Na: +1, N ise -3 iyon yüküne sahip olur.

Azot elementi oksijenle oluşturduğu N_2O, NO, N_2O_3, N_2O_4, N_2O_5 oksit bileşiklerinde sırasıyla +1, +2, +3, +4 ve +5 yükseltgenme basamaklarına sahip olur. Bu oksit bileşikleri kovalent karakterlidir. Azot elementi F, Cl halojenleriyle NF_3, NCl_3 gibi kovalent bileşikler oluşturur. Bu bileşiklerde azotun yükseltgenme basamağı +3'tür. Ayrıca azot elementi hidrazoik asit (HN_3) bileşiğinde -1/3 yükseltgenme basamağına sahiptir.

5A grubundaki N_2O_3, N_2O_5, P_4O_{10} gibi asidik oksitler su ile tepkimeye girerek asitleri oluşturur.


$N_2O_5(k) + H_2O(s) \rightarrow 2HNO_3(suda)$


$P_4O_{10}(k) + 6H_2O(s) \rightarrow 4H_3PO_4(suda)$

Grupta yukarıdan aşağıya inildikçe 5A grubu elementlerinin atom yarıçapı artar, iyonlaşma enerjileri azalır. Buna bağlı olarak grupta aşağı inildikçe ametalik özellik azalır, metalik özellik artar.

Antimon, bizmut ve arsenik kristal yapılı elementlerdir. Antimon değişik alaşımların eldesinde, arsenik bileşikleri zehirli olduğundan tarım ilaçları ve fare zehri üretiminde kullanılır. Bizmutun alaşımları, elektrik sigortalarında ve yangın söndürücülerde kullanılır.

6A Grubu Elementleri (Kalkojenler)

6A grubu (16. grup) elementlerine kalkojenler denir. Bu grupta sırasıyla O, S, Se, Te, Po, Lv elementleri bulunur. Gruptaki oksijen, kükürt ve selenyum elementi ametal, tellür ve polonyum elementi yarı metal, polonyum ve livermorium elementleri radyoaktif olup livermorium yapay bir elementtir.

> *6A grubundaki elementlerin elektron dizilimi*
> $...ns^2\ np^4$;$...ns^2\ (n-1)d^{10}\ np^4$; $...ns^2\ (n-2)f^{14}\ (n-1)d^{10}\ np^4$ şeklindedir (Tablo 1.21).

Tablo 1.21: *6A Grubu Elementlerinin Elektron Dizilimi*

6A
$_{8}O$: [He] $2s^22p^4$
$_{16}S$: [Ne] $3s^23p^4$
$_{34}Se$: [Ar] $4s^2d^{10}4p^4$
$_{52}Te$: [Kr] $5s^24d^{10}5p^4$
$_{84}Po$: [Xe] $6s^24f^{14}5d^{10}6p^4$
$_{116}Lv$: [Rn] $7s^25f^{14}6d^{10}7p^4$

6A grubu elementlerinden oksijen ve kükürdün elektron dizilimi $ns^2\ np^4$ şeklindedir. Bu elektron dizilimi, aynı periyottaki soy gaz elektron dizilimine yakın olduğu için 2 elektron kolaylıkla p orbitallerine yerleşebilir. Oksijen ve kükürt metallerle oluşturduğu oksitli ve sülfürlü iyonik bileşiklerde -2 yükseltgenme basamağına sahip olur. Örneğin oksijen ve kükürdün sodyum metali ile yaptıkları Na_2O ve Na_2S iyonik bileşiklerinde oksijen ve kükürdün iyon yükleri -2'dir. Oksijen florla yaptığı OF_2 kovalent bileşiğinde +2 yükseltgenme basamağı alırken H_2O_2, Na_2O_2 gibi peroksitlerde -1, KO_2 gibi süperoksitlerde -1/2 yükseltgenme basamağı alır.

Grubun önemli elementi olan kükürt SF_2, SO_2, SO_3 gibi kovalent bileşiklerde sırası ile +2, +4 ve +6 yükseltgenme basamaklarını alır.

Oksijen atmosferde O_2(g) ve stratosferde O_3(g) hâlinde, kükürt ise S_8(k) hâlinde bulunan moleküler yapılı elementlerdir.

Selenyum -2, +2, +4 ve +6 yükseltgenme basamağına, tellür -2, +4 ve +6 yükseltgenme basamağına sahip bileşikler oluşturabilir. Polonyumun metalik karakteri gruptaki diğer elementlerden daha fazla olduğu için bileşiklerinde +2 yükseltgenme basamağını alır.

Grupta yukarıdan aşağıya inildikçe 6A grubu elementlerinin atom yarıçapı artarken iyonlaşma enerjileri azalır. Buna bağlı olarak grupta aşağı doğru inildikçe ametalik özellik azalır, metalik özellik artar.

Bilgi Kutusu

> *Oksijen, elektron alma eğilimi yüksek bir element olduğu için yükseltgen özellik gösterir.*

7A Grubu Elementleri (Halojenler)

7A grubu (17. grup) elementlerine halojenler denir. Bu grupta sırasıyla F, Cl, Br, I, At, Ts elementleri bulunur. Bu gruptaki elementlerin hepsi ametaldir. Gruptaki astatin, tennesine elementleri radyoaktif olup tennesine elementi yapay elementtir.

> *7A grubundaki elementlerin elektron dizilimi*
> $...ns^2\ np^5$;$...ns^2\ (n-1)d^{10}\ np^5$; $...ns^2\ (n-2)f^{14}\ (n-1)d^{10}\ np^5$ şeklindedir (Tablo 1.22).

Tablo 1.22: *7A Grubu Elementlerinin Elektron Dizilimi*

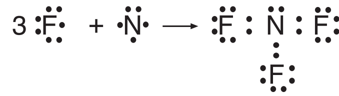
7A
$_{9}F$: [He] $2s^22p^5$
$_{17}Cl$: [Ne] $3s^23p^5$
$_{35}Br$: [Ar] $4s^2d^{10}4p^5$
$_{53}I$: [Kr] $5s^24d^{10}5p^5$
$_{85}At$:[Xe] $6s^24f^{14}5d^{10}6p^5$
$_{117}Ts$: [Rn] $7s^25f^{14}6d^{10}7p^5$

7A grubu elementlerinin elektron dizilimi ns^2 np^5 şeklindedir. Bu elektron dizilimi aynı periyottaki soy gaz elektron dizilimine yakın olduğu için p orbitallerine 1 elektron kolaylıkla yerleşebilir. Bu nedenle bu elementler, kararlı bileşiklerinde -1 yükseltgenme basamağına sahip olur. Halojenler metallerle iyonik bileşikler oluşturur. Bu bileşiklerin çoğu tuzdur. Örneğin 7A grubundaki F,Cl, Br, I; 1A ve 2A grubundaki aktif metallerle NaCl, CaF_2, KBr, MgI_2 gibi iyonik bileşikleri oluşturduklarında -1 iyon yüküne sahiptir.

Bilgi Kutusu

Selenyum, zayıf bir iletken olmasına rağmen üzerine ışık düşünce iletkenliği arttığı için fotosellerde ışık şiddetinin ölçülmesinde kullanılır.
Tellür, yarı iletken ve termoelektrik alaşım üretiminde kullanılır.

Halojenler ametallerle elektron ortaklaşması yaparak kovalent bağlı moleküler bileşikler oluşturur. Halojenler kovalent bağda ns^2 np^5 orbitallerindeki yarı dolu olan bir orbitalini kullanır. Örneğin azot ile flor atomları NF_3 kovalent bağlı moleküler bileşiğini oluşturur. Azotun elektron dizilimi $2s^2$ $2p^3$ ile sonlanır. Azotun yarı dolu orbitallerindeki üç elektron, 3 tane florun $2p^5$ yarı dolu orbitalindeki elektronlar ortaklaşa kullanılarak kovalent bağ oluşturur.



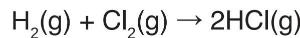
Bilgi Kutusu

Halojen Yunancada "tuz yapan" anlamına gelir.

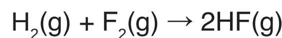
Halojenler doğada iki atomlu moleküller hâlinde bulunur. F_2, Cl_2, Br_2, I_2 gibi iki atomlu moleküllerinde kovalent bağ içerir. Flor elementinin elektron alma isteği, elektronegatifliği en yüksek olduğundan bileşiklerinde sadece -1 yükseltgenme basamağı alır. Halojenler bileşiklerinde -1'den +7'ye kadar değişik yükseltgenme basamağına sahip olabilir. Halojenler kendisinden daha güçlü elektron alma isteği ve elektronegatifliğe sahip olan elementlerle kovalent bileşik oluşturduklarında pozitif yükseltgenme basamağına, daha az olan elementlerle bileşik oluşturduklarında negatif yükseltgenme basamağına sahip olur. Örneğin klor elementi HCl, HClO, $HClO_2$, $HClO_3$ ve $HClO_4$ bileşiklerinde sırasıyla -1, +1, +3, +5, +7 yükseltgenme basamaklarını alır.

Grupta yukarıdan aşağıya inildikçe 7A grubu elementlerinin atom yarıçapları artarken elektron alma istekleri, ametalik aktiflikleri, elektronegatiflikleri ve elektron ilgileri azalır. Grupta elektronegatifliği, ametalik aktifliği, elektron alma isteği en büyük element flordur. Elektron ilgisi en büyük element ise klordur. Klorun elektron ilgisinin flordan yüksek olmasının nedeni; flor atomunun yarıçapı küçük olmasından dolayı elektronlar arası itme kuvvetinin büyük olmasıdır.

Halojenler hidrojenle tepkimeye girerek hidrojen halojenürleri oluşturur. Bunların hidrojenli bileşikleri asit özelliği gösterir.

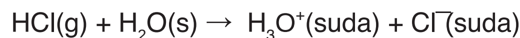


$H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2HCl(g)$



$H_2(g) + F_2(g) \rightarrow 2HF(g)$

Oluşan kovalent yapılı moleküller suda iyonlaşarak çözünür ve asit özelliği gösterir.

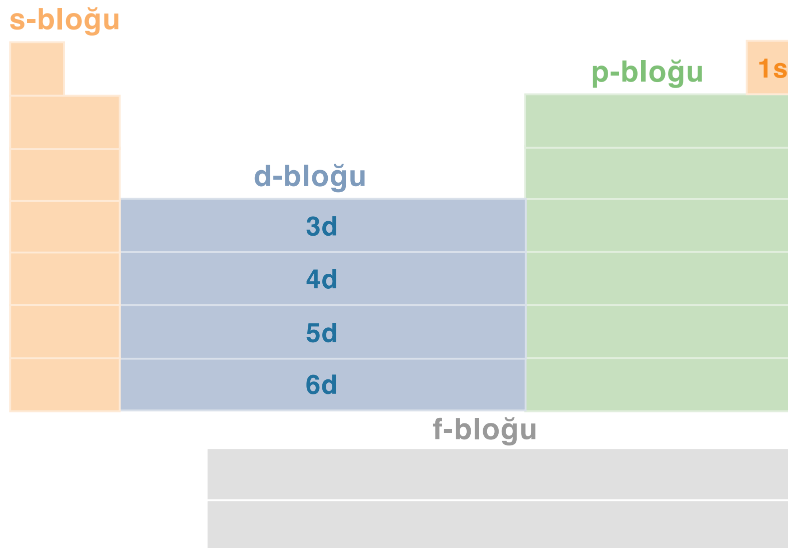


$HCl(g) + H_2O(s) \rightarrow H_3O^+(suda) + Cl^-(suda)$

d Blok Elementleri

Periyodik sistemin d bloğunda yer alırlar (Tablo 1.23). Elektron dizilimleri ns^2 (n-1)d orbitalleri ile sonlanır. d bloğu elementlerine geçiş elementleri veya geçiş metalleri denir. Periyodik sistemde 2A grubu ile 3A grubu arasında 10 tane d bloğu elementi bulunur. d bloğu elementleri IUPAC'a göre 2. grupla 13. grup arasındaki elementlerden oluşur. Periyodik sistemin ilk üç periyodunda geçiş elementi yoktur. Geçiş elementleri 4. periyotta skandiyum (Sc) elementi ile başlar.

Tablo 1.23: *Periyodik Sistemde d Blok Elementleri*



Geçiş metalleri ametallerle iyonik yapılı bileşik oluşturur. Geçiş elementlerinin en önemli özelliği, çoğu bileşiklerinde birden fazla pozitif yükseltgenme basamağı almasıdır. Bu durum geçiş metallerinin elektron dizilimi ile ilgilidir. Örneğin krom (Cr), mangan (Mn), demir (Fe), bakır (Cu), çinko (Zn) elementlerinin elektron dizilimleri ve yükseltgenme basamakları arasındaki ilişki

$_{24}Cr$: [Ar] $4s^1\ 3d^5$ krom elementi 4s ve 3d orbitallerinden 3 elektron vererek +3, 4s 3d orbital elektronlarının tamamını vererek +6 yükseltgenme basamağına sahip olabilir. Örneğin krom elementi oksijen elementi ile yaptığı Cr_2O_3 ve CrO_3 iyonik bileşiklerinde sırasıyla +3 ve +6 yükseltgenme basamağına sahiptir.

$_{25}Mn$: [Ar] $4s^2\ 3d^5$ mangan elementi 4s orbitalindeki iki elektronu vererek +2, 4s 3d orbitallerinden elektron vererek +3, +4 ve +7 yükseltgenme basamağına sahip olabilir. Örneğin mangan elementi oksijen elementi ile yaptığı MnO, Mn_2O_3, MnO_2 ve Mn_2O_7 iyonik bileşiklerinde sırasıyla +2, +3, +4 ve +7 yükseltgenme basamaklarına sahiptir.

${}_{26}Fe$: [Ar] $4s^2$ $3d^6$ demir elementi 4s orbitalindeki iki elektronu vererek +2, 4s 3d orbitallerinden elektron vererek +3 yükseltgenme basamağına sahip olabilir. Örneğin demir elementi oksijen elementi ile yaptığı FeO ve Fe_2O_3 iyonik bileşiklerinde sırasıyla +2 ve +3 yükseltgenme basamaklarına sahiptir.

${}_{29}Cu$: [Ar] $4s^1$ $3d^{10}$ bakır elementi 4s orbitalindeki bir elektronu vererek +1, 4s ve 3d orbitallerinden 2 elektron vererek +2 yükseltgenme basamağına sahip olabilir. Örneğin bakır elementi oksijen elementi ile yaptığı Cu_2O ve CuO iyonik bileşiklerinde sırasıyla +1 ve +2 yükseltgenme basamaklarına sahiptir.

${}_{30}Zn$: [Ar] $4s^2$ $3d^{10}$ çinko elementi 4s orbitalindeki iki elektronu vererek +2 yükseltgenme basamağına sahiptir. Örneğin çinko elementi oksijen elementi ile yaptığı ZnO iyonik bileşiğinde +2 yükseltgenme basamağına sahip olur.

Görsel 1.31: *Geçiş elementi olan bakırın $CuSO_4.5H_2O$ bileşiği renklidir ve yaygın adı göztaşıdır.*

Verilen örneklerde geçiş elementleri ametaller ile iyonik bileşik oluştururken genelde oktet kuralına uymaz. Son katmanlarındaki elektron dizilimlerini d^5 veya d^{10} küresel simetrik elektron dizilimine ulaştırarak kararlı hâle gelir.

Geçiş metallerinin çoğunda d orbitalleri kısmen doludur. Kısmen dolu d orbitalleri orbitaller arası elektron geçişlerini kolaylaştırdığı için metallere ve bu metallerden oluşan bileşiklerin bazılarına geçici manyetik özellik kazandırır. Ayrıca geçiş elementi bileşiklerinin katı hâlde ve sulu çözeltilerinin renkli olmasını sağlar (Görsel 1.31).

Geçiş metallerinin çoğu aktif metaldir. Geçiş metali olan Cu, Ag, Hg, Au ve Pt aktif metal değildir. Bu metallere pasif metaller denir. Pasif metallerden Cu, Ag ve Hg yarı soy metal olup Au ve Pt soy metaldir. Pasif metaller HCl, HI, HBr gibi kuvvetli, oksijen içermeyen halojen asitleri ile tepkimeye girmez. Yarı soy metaller kuvvetli, oksijenli asitler ile HNO_3, H_2SO_4 ile tepkime verir. Au ve Pt ise asitlerle tepkime vermez. Ancak kral suyu ile tepkime verir. Pasif metaller dışındaki tüm geçiş metalleri HCl, HBr, HNO_3 ve H_2SO_4 gibi asitlerle tepkime vererek hidrojen gazı açığa çıkarır.

Geçiş metallerinin sertlikleri, yoğunlukları, ısı ve elektrik iletkenlikleri, erime ve kaynama noktaları oldukça yüksektir. Bunun nedeni atomlar arasında güçlü bir etkileşim olan metalik bağın bulunmasıdır. Geçiş metalleri metalik bağın yanında yarı dolu d orbitallerini kullanarak kovalent bağ da oluşturabilir. d orbitallerindeki yarı dolu elektron sayısı arttıkça kovalent bağ sayısı artar. Metalin erime noktası ve sertliği artar.

Bilgi Kutusu

Soy metallerin tepkime verdikleri kral suyu (altın suyu); 3 hacim HCl, 1 hacim HNO_3 çözeltisidir.

Tablo 1.24 incelendiğinde skandiyumdan mangana doğru gidildikçe d orbitallerindeki eşleşmemiş elektron sayısı artar. Skandiyumdan vanadyuma kadar erime noktası artar. Skandiyum 1, titanyum 2, vanadyum 3 eşleşmemiş elektronlarını kullanarak kovalent karakteri yüksek bağ yapabilir. Krom ve manganın eşleşmemiş elektron sayısı fazla olmasına rağmen küresel simetri elektron diziliminde olduğu için d orbitallerini kullanarak kovalent bağ yapamaz. Bu nedenle erime noktaları düşer. Demirden çinkoya doğru d orbitallerindeki eşleşmiş elektron sayısı artar, böylece kovalent bağ sayısı azalarak sertliği ve erime noktası azalır. Çinko elementi s ve d orbitallerinin tam dolu olmasından dolayı küresel simetrik elektron dizilimine sahiptir. Bu nedenle çinkodaki metalik bağ kovalent karakter içermez. 4. periyottaki geçiş metallerinden erime noktası en düşük olan çinko metalidir.

Tablo 1.24: *Periyot Geçiş Metallerinin Elektron Dizilimleri, Erime Noktaları ve Sertlikleri*

Metal	Değerlik Katman Elektron Dizilimleri	Erime Noktası (°C)	Sertlik (Mohs skalasına göre)
$_{21}Sc$	$[_{18}Ar]\ 4s^2\ 3d^1$	1541	-
$_{22}Ti$	$[_{18}Ar]\ 4s^2\ 3d^2$	1660	6,0
$_{23}V$	$[_{18}Ar]\ 4s^2\ 3d^3$	1890	6,7
$_{24}Cr$	$[_{18}Ar]\ 4s^1\ 3d^5$	1857	8,5
$_{25}Mn$	$[_{18}Ar]\ 4s^2\ 3d^5$	1244	6,0
$_{26}Fe$	$[_{18}Ar]\ 4s^2\ 3d^6$	1535	4,0
$_{27}Co$	$[_{18}Ar]\ 4s^2\ 3d^7$	1495	5,0
$_{28}Ni$	$[_{18}Ar]\ 4s^2\ 3d^8$	1453	4,0
$_{29}Cu$	$[_{18}Ar]\ 4s^1\ 3d^{10}$	1083	3,0
$_{30}Zn$	$[_{18}Ar]\ 4s^2\ 3d^{10}$	420	2,5

f Blok Elementleri

Elektron dizilimleri en son f orbitali ile biten elementlerdir. Periyodik sistemde 2A ve 3B grubu arasında iki sıra hâlinde yer alır (Tablo 1.25). f blok elementleri 6 ve 7. periyotta yer alır. f blok elementlerine iç geçiş elementleri de denir. 6. periyotta $_{57}La$ ile $_{71}Lu$'a kadar olan 14 elemente lantanitler denir. Lantanitlerin elektron dizilimi en son 4f orbitalleri ile sonlanır. 7. periyotta $_{89}Ac$ ile $_{103}Lr$'a kadar olan 14 elemente aktinitler denir. Aktinitlerin elektron dizilimi en son 5f orbitalleri ile sonlanır.

***Tablo 1.25** Periyodik Sistemde f Blok Elementlerinin Yeri*

f Blok

Alkali metaller
Toprak alkali metaller
Ametaller
Yarı metaller
Soy gazlar
İç geçiş metalleri
Geçiş metalleri
p bloğu metalleri

Bilgi Kutusu

Lantanın elektron dizilimi $6s^2\ 4f^1$ şeklinde olması gerekirken Henry Moseley tarafından $6s^2\ 4f^0\ 5d^1$ şeklinde olması önerildi. Bu nedenle lantan geçiş elementidir.

Lantanit ve aktinitlerin f alt kabukları tam dolu değildir. Bu elementlerin elektron diziliminde elektronlar f orbitalleri tam dolmadan s ve d orbitallerine yerleşmiştir. Bu nedenle elektron dizilimleri Aufbau Kuralı'na uymaz. Atom numarası 57 olan lantan elementinin elektron dizilimi

$_{57}La$: [Xe] $6s^2\ 4f^1$ olması gerekirken, 5d ve 4f orbitalleri arasında enerji farkının çok az olmasından dolayı elektron dizilimi $_{57}La$: [Xe] $6s^2\ 4f^0\ 5d^1$ şeklindedir.

Bazı f blok elementlerinin elektron dizilimleri Tablo 1.26'da verilmiştir.

Bilgi Kutusu

Atom numarası 83 olan bizmuttan sonraki elementlerin çekirdekleri kararsız olup hiçbir dış etki olmaksızın kendiliğinden ışın yayar. Bu elementlere doğal radyoaktif element denir.

***Tablo 1.26:** Bazı f Blok Elementlerinin Elektron Dizilimi*

Element Adı	Sembol	Elektron Dizilimi
Seryum	$_{58}Ce$	[Xe] $6s^2\ 4f^1\ 5d^1$
Gadolinyum	$_{64}Gd$	[Xe] $6s^2\ 4f^7\ 5d^1$
Protaktinyum	$_{91}Pa$	[Rn] $7s^2\ 5f^2\ 6d^1$
Küriyum	$_{96}Cm$	[Rn] $7s^2\ 5f^7\ 6d^1$

Elementlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini elektron dizilimleri belirler. Kimyasal özellikleri dış katmandaki değerlik elektronları belirler. f blok elementlerinde f orbitalleri iç katmanda olduğundan dış katmandaki elektronlara etkisi azdır. f blok elementlerinin kimyasal özellikleri birbirine çok benzer. Bu benzerliğin önemli nedenlerinden biri atom yarıçaplarının birbirine çok yakın olmasıdır. f blok elementleri 3B grubu elementlerinde olduğu gibi bileşiklerinde +3 yüklü iyonlar oluşturur.

Bazı f blok elementleri bileşiklerinde +4 yükseltgenme basamağı da alabilir. Lantanit ve aktinitlerin hepsi aktif metaldir. Lantanitlerden sadece prometyum (Pm) radyoaktif olup aktinitlerin hepsi radyoaktiftir. Bu elementlerin kimyasal özellikleri birbirine çok benzer.

b) Asal Gazlar (Soy Gazlar)

8A grubu elementlerine soy gazlar denir. Bu grupta sırasıyla He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn, Og elementleri bulunur. Gruptaki radon ve oganesson elementleri radyoaktif olup oganesson elementi yapay elementtir.

8A grubundaki elementlerin elektron dizilimi
He $1s^2$, diğer elementlerinki
…ns^2 np^6 ;…ns^2 $(n-1)d^{10}$ np^6 ; ...ns^2 $(n-2)f^{14}$ $(n-1)d^{10}$ np^6 şeklindedir (Tablo 1.27).

Asal gazların elektron dizilimlerinde son katmandaki orbitalleri tam doludur. Bu elementler kararlı yapıya sahip oldukları için elektron almaya ve vermeye yatkın değildir. Asal gazların elektron ilgileri yoktur. İyonlaşma enerjileri çok yüksektir. Grupta yukarıdan aşağıya inildikçe asal gazların, atom yarıçapı artarken elektronegatiflikleri ve iyonlaşma enerjileri azalır. Asal gazlar bileşik oluşturmaya yatkın değildir. Gruptaki helyum ve neonun bileşikleri yoktur.

1962 yılında Neil Bartlett (Niıl Bertlıt) ksenonun platin hekzaflorür ($XePtF_6$) bileşiğini sentezlemiştir. Ksenonun elektronegatifliği yüksek olan flor ve oksijenle oluşturduğu XeF_2, XeF_4, $XeOF_2$, XeF_6, XeO_3, XeO_4 gibi bileşikleri vardır. Kriptonun KrF_2 bileşiği sentezlenmiş, argonun da 2010 yılında düşük sıcaklıklarda kararlı olan HArF bileşiği elde edilmiştir. Asal gazların uygun koşullarda bileşik oluşturabilmesi için iyonlaşmaları ve elektronegatifliği fazla olan atomlarla etkileşmeleri gerekir.

Soy gazlar oda koşullarında tek atomlu gaz hâlinde bulunur. Asal gazlar genellikle atmosferde bulunur. Bu elementler sıvı havanın damıtılması ile elde edilir. Hidrojenden sonra en hafif element helyum olduğundan uçan balonları ve zeplinleri doldurmak için helyum gazı kullanılır. Düşük basınç altında neon gazı bulunan bir tüpün içinden elektrik akımı geçirilirse neon atomlarının elektronları uyarılarak kırmızı bir ışıma oluşturulur. Bu şekilde neon lambaları yapılarak çeşitli aydınlatmalar da kullanılır.

Asal gazlarda katı ve sıvı hâlde atomları arasında London kuvvetleri etkilidir. Grupta yukarıdan aşağıya elektron sayısı arttığı için London çekim kuvveti artar ve böylece asal gazların erime ve kaynama noktaları artar.

Tablo 1.27: *8A Grubu Elementlerinin Elektron Dizilimi*

8A
$_{2}He$: $1s^2$
$_{10}Ne$: [He] $2s^2 2p^6$
$_{18}Ar$: [Ne] $3s^2 3p^6$
$_{36}Kr$: [Ar] $4s^2 3d^{10} 4p^6$
$_{54}Xe$: [Kr] $5s^2 4d^{10} 5p^6$
$_{86}Rn$: [Xe] $6s^2 4f^{14} 5d^{10} 6p^6$
$_{118}Og$: [Rn] $7s^2 5f^{14} 6d^{10} 7p^6$

Bilgi Kutusu

Doğada en çok bulunan asal gaz argondur. Argon gazı boşaltım lambaları ve çelik endüstrisinde sıcak alaşımı kalıba dökmeden önce hava ile temasını kesmede kullanılır.

Bilgi Kutusu

Radon, yer altından yeryüzüne doğru yol alan bir gazdır. Bu nedenle radon gazı ölçümleri, depremlerin önceden belirlenmesi çalışmalarında en etkili ve en önemli metodlardan biri olarak kabul edilmektedir.

5. BÖLÜM

YÜKSELTGENME BASAMAKLARI

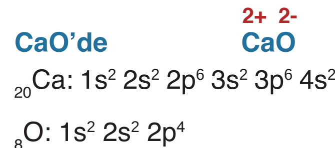
- *Atomların yükseltgenme basamaklarıyla elektron dizilimleri arasında nasıl bir ilişki vardır?*
- *İyon yükü ile yükseltgenme basamağı arasındaki fark nedir?*
- *İyon yükü yerine yükseltgenme basamağı kullanılabilir mi?*

1.5.1. Yükseltgenme Basamakları ve Elektron Dizilimleri

Atomlar doğada serbest hâlde veya bileşikleri hâlinde bulunur. Atomlar bir araya gelerek kimyasal bir değişim sonucu bileşikleri oluştururken çekirdeklerinde bulunan artı yüklü proton sayısında değişme olmaz. Kimyasal bağlar oluşurken elektronlar alınıp verilerek iyonik bağ veya elektron ortaklığında kovalent bağ oluşur. Atomlar arası elektron alışverişi ile iyonik bağlar oluşurken atom, verdiği elektron sayısınca pozitif (+), aldığı elektron sayısınca negatif (-) yük kazanır. Bu şekilde elektron alışverişi ile oluşan (+) ya da (-) yüklü atom ya da atom gruplarına **iyon** denir. Na^+, Mg^{2+}, NH_4^+ gibi (+) yüklü iyonlara **katyon** denir. Cl^-, S^{2-}, CO_3^{2-}, PO_4^{3-} gibi (-) yüklü iyonlara **anyon** denir.

İyon yükü; iyonik bileşiklerde metalin elektron vererek ametalin ise elektron alarak kazandığı yüktür. İyon yükü, net elektron alışverişi olan iyonik bileşiklerde kullanılır. Örneğin NaCl ve CaO iyonik bileşiklerinde atomların iyon yükü ve elektron dizilimi arasındaki ilişki aşağıda belirtilmiştir:

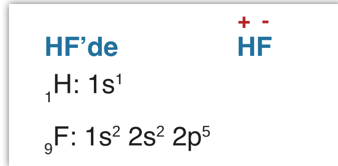
Sodyum 3s orbitalindeki 1 elektronunu klorun $3p^5$ orbitaline verir. Sodyum atomu +1 klor atomu -1 yüklü iyon hâline gelerek kararlı oktet yapısına ulaşır. Bileşikte sodyumun iyon yükü +1 klorun iyon yükü ise -1'dir. İyonik bileşiklerde iyon yükleri yerine yükseltgenme basamağı da kullanılabilir. NaCl bileşiğinde sodyumun yükseltgenme basamağı +1, klorun yükseltgenme basamağı -1'dir.



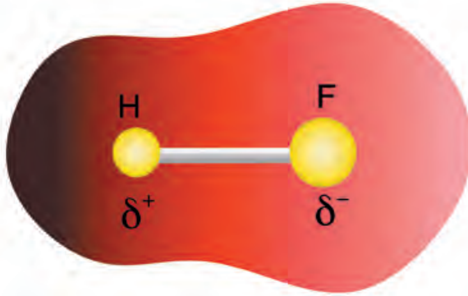
Kalsiyum 4s orbitalindeki 2 elektronunu oksijenin $2p^4$ orbitaline verir. Kalsiyum atomu +2, oksijen atomu -2 yüklü iyon hâline gelerek kararlı oktet yapısına ulaşır. Bileşikte kalsiyumun iyon yükü +2, oksijenin iyon yükü ise -2'dir. CaO bileşiğinde kalsiyumun yükseltgenme basamağı +2, oksijenin yükseltgenme basamağı -2'dir.

Kovalent bileşiklerde atomlar arası elektron alışverişi değil elektron ortaklığı olur. Kovalent bileşiklerde net iyon yükleri oluşmaz. Bu nedenle kovalent bileşiklerde iyon yükü kullanılmaz, yükseltgenme basamağı kullanılır. İyonik bileşiklerdeki iyon yükü yerine yükseltgenme basamağı da kullanılabilir. Tüm iyonik ve kovalent moleküllerdeki atomların sahip olduğu yük değerleri yükseltgenme basamağı olarak belirtilir.

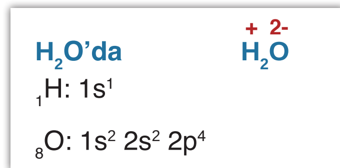
HF, H_2O ve NH_3 kovalent bileşiklerinde atomların yükseltgenme basamakları ve elektron dizilimi arasındaki ilişki aşağıda belirtilmiştir:



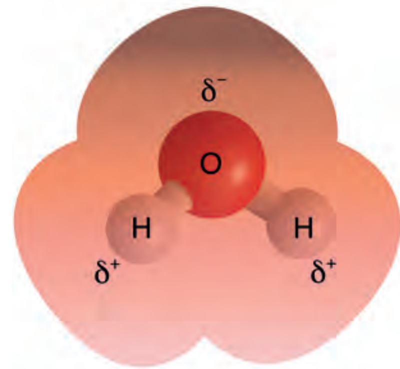
Hidrojenin $1s^1$ orbitalindeki 1 elektron ile florun $2p^5$ teki yarı dolu orbitalindeki 1 elektron ortaklaşa kullanılarak bir tane kovalent bağ oluşur. Ortaklaşa kullanılan elektronları, elektronegatifliği yüksek olan flor atomu kendine daha çok çektiği için molekülün flor ucu kısmen eksi, hidrojen ucu kısmen artı olur (Görsel 1.32). Kovalent moleküllerde bağ elektronlarının tamamının elektronegatifliği daha yüksek atoma ait olduğu kabul edilir. Her bağ için flor -1 hidrojen ise +1 yükseltgenme basamağına sahiptir.



***Görsel 1.32:** HF molekülünde atomların kısmi yükleri*

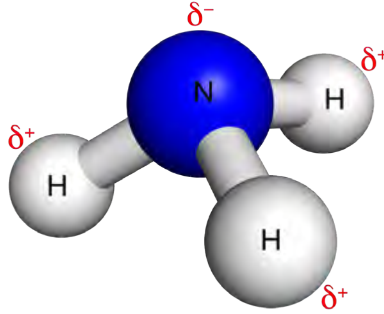


Hidrojen $1s^1$ deki 1 elektron, oksijenin $2p^4$ teki yarı dolu orbitalindeki 2 elektronu ile ortaklaşa kullanılarak iki tane kovalent bağ oluşur. Ortaklaşa kullanılan elektronları, elektronegatifliği yüksek olan oksijen atomu kendine daha çok çektiği için molekülün oksijen ucu kısmen eksi, hidrojen ucu kısmen artı olur (Görsel 1.33). Kovalent moleküllerde bağ elektronlarının tamamı elektronegatifliği daha yüksek atom olan oksijene ait olduğu kabul edilir. Bu nedenle her bağ için oksijen -1, molekülde iki bağ olduğundan oksijen -2, hidrojen ise +1 yükseltgenme basamağına sahiptir.



***Görsel 1.33:** Suyun elektrostatik potansiyel haritası*

NH_3'da	$\overset{3-}{N}\overset{+}{H_3}$
${}_{1}H: 1s^1$	
${}_{7}N: 1s^2\ 2s^2\ 2p^3$	



Görsel 1.34: *NH_3 molekülünün top çubuk modeli ve kısmi yük dağılımı*

Hidrojen $1s^1$ deki 1 elektron, azotun $2p^3$ teki yarı dolu orbitalindeki 3 elektronu ile ortaklaşa kullanılarak üç tane kovalent bağ oluşur. Ortaklaşa kullanılan elektronları, elektronegatifliği yüksek olan azot atomu kendine daha çok çektiği için molekülün azot ucu kısmen eksi, hidrojen ucu kısmen artı olur (Görsel 1.34). Kovalent moleküllerde bağ elektronlarının tamamının elektronegatifliği daha yüksek atom olan azota ait olduğu kabul edilir. Her bağ için azot -1, molekülde azot üç bağ oluşturduğu için azot -3, hidrojen ise +1 yükseltgenme basamağına sahiptir.

a) Ametallerin Anyon Hâlindeki Yükleri ile Yükseltgenme Basamakları Arasındaki Fark

İyonik bileşikler, yüksek sıcaklıkta eritildiğinde veya su ile çözeltileri oluşturulduğunda iyonlarına ayrışır. İyonik bileşikler sıvı hâlde ve sulu çözeltilerinde anyon ve katyonları oluşturur. Oluşan anyonların iyon yükleri ametalin yükseltgenme basamağıdır.

NaCl, CaF_2, K_2S, Mg_3N_2 iyonik bileşiklerinin sulu çözeltilerinde, bileşiklerdeki ametaller (Cl, F, S ve N), Cl^-, F^-, S^{2-} ve N^{3-} iyon yüküne sahiptir. Bu bileşiklerde iyonlardan Cl ve F -1, S -2, N ise -3 yükseltgenme basamağına sahiptir. Ametaller bazı bileşiklerinde birden fazla yükseltgenme basamağı alabilir. Ametallerin özellikle kök bileşiklerinde bulunan yükseltgenme basamakları iyon yükleri değildir. Örneğin klorun NaCl, NaClO, $NaClO_2$, $NaClO_3$ ve $NaClO_4$ bileşiklerinde yükseltgenme basamakları sırasıyla -1, +1, +3, +5 ve +7'dir. NaCl iyonik bileşiğindeki klorun -1 iyon yükü aynı zamanda Cl'un yükseltgenme basamağıdır. Fakat diğer bileşiklerdeki Cl'un +1, +3, +5 ve +7 olan değerleri iyon yükleri değil klorun yükseltgenme basamaklarıdır.

SO_2 ve SO_3 kovalent bileşiklerinde kükürdün yükseltgenme basamakları sırası ile +4 ve +6'dır. Bu yükseltgenme basamakları yerine iyon yükü kullanılmaz.

b) d Bloğu Elementlerinin Yükseltgenme Basamaklarının Elektron Dizilimi ile İlişkileri

Periyodik sistemde 1A grubu metalleri ns^1, elektron diziliminden dolayı sadece +1, 2A grubu metalleri ns^2 elektron diziliminden dolayı sadece +2 yükseltgenme basamağı alır. 3B grubundaki geçiş metalleri ${}_{21}Sc$, ${}_{39}Y$, ${}_{57}La$ ise $ns^2\ (n-1)d^1$ elektron diziliminden dolayı yaygın olarak +3 yükseltgenme basamağı alır. 1A, 2A ve 3B gruplarında bulunan metaller sadece tek yükseltgenme basamağına sahiptir. 3B dışındaki geçiş metalleri, bileşiklerinde çoğunlukla birden fazla pozitif yükseltgenme basamağına sahip olabilir.

d-blok metallerinin birden fazla yükseltgenme basamağına sahip olmasının nedeni bu metallerin elektron dizilimi ve atom yarıçaplarıyla ilişkilidir. d-blok metallerinin elektron dizilimleri ns (n-1)d orbitalleri ile sonlanır.

ns ve (n-1)d orbitalleri arasındaki enerji farkının az olmasından dolayı d-blok metalleri elektronlarını bu orbitallerden verebilir. Böylece d-blok metalleri farklı pozitif yükseltgenme basamağına sahip olabilir. Örneğin potasyum (K) bileşiklerinde sadece +1 yükseltgenme basamağına sahip olurken bakır (Cu) +1 veya +2 yükseltgenme basamağına sahip olabilir. Bakır ve potasyum arasındaki bu farkın sebebi, bakır ve potasyumun ikinci iyonlaşma enerjileri karşılaştırılarak anlaşılabilir. İkinci iyonlaşma enerjisi bakır için 1960 kj/mol, potasyum için 3070 kj/mol'dür. Cu^{2+} iyonunu oluşturmak için (n-1)d alt katmanından yani [Ar] $3d^{10}$'un d-orbitallerinden 1 elektron uzaklaştırılması gerekirken K^{2+} iyonu oluşturmak için, elektronun [Ar] yapısından uzaklaştırılması gerekir. Kimyasal reaksiyonlarda bu kadar büyük enerji kolayca sağlanamayacağı için potasyum sadece 4s orbitalindeki elektronunu verebilir.

Tablo 1.28'de elementlerin bileşiklerinde alabilecekleri yükseltgenme basamakları verilmiştir. En yaygın yükseltgenme basamakları renkli olarak yazılmıştır.

Tablo 1.28: *Elementlerin Bileşiklerinde Alabilecekleri Yükseltgenme Basamakları*

1 1A	2 2A	3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8 8B	9 8B	10 8B	11 1B	12 2B	13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	17 7A	18 8A
1 **H** +1 -1																	2 **He**
3 **Li** +1	4 **Be** +2											5 **B** +3	6 **C** +4 +2 -4	7 **N** +5 +4 +3 +2 +1 -3	8 **O** +2 -2 -1 -2	9 **F** -1	10 **Ne**
11 **Na** +1	12 **Mg** +2											13 **Al** +3	14 **Si** +4 -4	15 **P** +5 +3 -3	16 **S** +6 +4 +2 -2	17 **Cl** +7 +6 +5 +4 +3 +1 -1	18 **Ar**
19 **K** +1	20 **Ca** +2	21 **Sc** +3	22 **Ti** +4 +3 +2	23 **V** +5 +4 +3 +2	24 **Cr** +6 +5 +4 +3 +2	25 **Mn** +7 +6 +4 +3 +2	26 **Fe** +3 +2	27 **Co** +3 +2	28 **Ni** +2	29 **Cu** +2 +1	30 **Zn** +2	31 **Ga** +3	32 **Ge** +4 -4	33 **As** +5 +3 -3	34 **Se** +6 +4 -2	35 **Br** +5 +3 +1 -1	36 **Kr** +4 +2
37 **Rb** +1	38 **Sr** +2	39 **Y** +3	40 **Zr** +4	41 **Nb** +5 +4	42 **Mo** +6 +4 +3	43 **Tc** +7 +6 +4	44 **Ru** +8 +4 +3	45 **Rh** +4 +3 +2	46 **Pd** +4 +2	47 **Ag** +1	48 **Cd** +2	49 **In** +3	50 **Sn** +4 +2	51 **Sb** +5 +3 -3	52 **Te** +6 +4 -2	53 **I** +7 +5 +1 -1	54 **Xe** +6 +4 +2
55 **Cs** +1	56 **Ba** +2	57 **La** +3	72 **Hf** +4	73 **Ta** +5	74 **W** +6 +4	75 **Re** +7 +6 +4	76 **Os** +8 +4	77 **Ir** +4 +3	78 **Pt** +4 +2	79 **Au** +3 +1	80 **Hg** +2 +1	81 **Tl** +3 +1	82 **Pb** +4 +2	83 **Bi** +5 +3	84 **Po** +2	85 **At** -1	86 **Rn**

Geçiş elementi olan demir ve skandiyumun elektron dizilimi ile alabilecekleri yaygın yükseltgenme basamakları aşağıda gösterilmiştir.

Skandiyum metalinin bileşiklerinde alabileceği yükseltgenme basamağı

$_{21}Sc$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^1$ elektron dizilimine göre bulunur.

Skandiyum bileşik oluştururken 4s ve 3d orbitallerindeki toplam 3 elektronunu vererek Ar elektron dizilimine ulaşır ve +3 yükseltgenme basamağına sahip olur. +3 yükseltgenme basamağına sahip skandiyum iyonunun elektron dizilimi

$_{21}Sc^{3+}$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$ şeklindedir.

Demir metalinin bileşiklerinde alabileceği yükseltgenme basamağı

$_{26}Fe$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^6$ elektron dizilimine göre bulunur.

Demir bileşik oluştururken 4s orbitallerindeki 2 elektronunu verdiğinde demirin yükseltgenme basamağı +2 olur. +2 yükseltgenme basamağına sahip demir iyonunun elektron dizilimi

Fe^{2+}: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^6$ şeklindedir.

Demir bileşik oluştururken 4s ve 3d orbitallerinden 3 elektron vererek +3 yükseltgenme basamağına sahip olur. +3 yükseltgenme basamağına sahip demir iyonunun elektron dizilimi;

Fe^{3+}: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5$ şeklindedir.

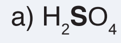
Elementlerin Yükseltgenme Basamaklarının Hesaplanması

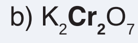
Bileşiklerde ve bazı yaygın kök iyonlarda bulunan elementlerin yükseltgenme basamağının hesaplanması ile ilgili kurallar aşağıda belirtilmiştir.

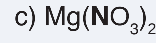
- Serbest hâldeki atom ve moleküllerin yükseltgenme basamakları sıfırdır. (Cu^0, O_2^0, P_4^0, vb.)
- Bileşiklerdeki atomların yükseltgenme basamakları toplamı sıfırdır.
- Bir atomlu iyonlarda iyonun yükü, atomun yükseltgenme basamağına eşittir. (Na^+, Al^{3+}, F^- vb.)
- Kök iyonlardaki atomların yükseltgenme basamakları toplamı kökün yüküne eşittir.
- Hidrojen metal bileşiklerinde -1, ametal bileşiklerinde +1 yükseltgenme basamağına sahiptir.
- Oksijen oksitlerinde -2, peroksitlerde -1, süper oksitlerde -1/2 ve florla yaptığı OF_2 bileşiğinde +2 yükseltgenme basamağına sahiptir.
- Alkali metaller bileşiklerinde sadece +1 yükseltgenme basamağına sahiptir.
- Toprak alkali metaller bileşiklerinde sadece +2 yükseltgenme basamağına sahiptir.
- Halojenler kararlı bileşiklerinde -1 yükseltgenme basamağına sahiptir. (Flor sadece -1, diğer halojenler -1 ile +7 aralığında yükseltgenme basamağına sahiptir.
- Bileşiklerinde gümüş (Ag) +1, çinko (Zn) +2, nikel (Ni) +2, alüminyum (Al) +3 yükseltgenme basamağına sahiptir.

Örnek

Aşağıda verilen bileşik ve köklerdeki koyu ile yazılmış atomların yükseltgenme basamağını hesaplayınız.

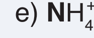

a) $H_2\mathbf{S}O_4$


b) $K_2\mathbf{Cr_2}O_7$

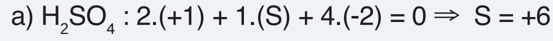

c) $Mg(\mathbf{N}O_3)_2$

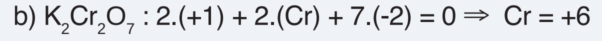
ç) $Na\mathbf{Mn}O_4$

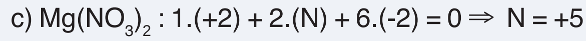
d) $\mathbf{C}O_3^{2-}$

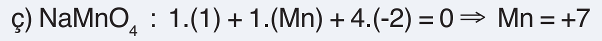

e) $\mathbf{N}H_4^+$

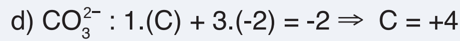
Çözüm

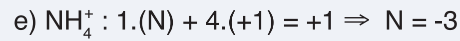

a) H_2SO_4 : 2.(+1) + 1.(S) + 4.(-2) = 0 ⇒ S = +6


b) $K_2Cr_2O_7$: 2.(+1) + 2.(Cr) + 7.(-2) = 0 ⇒ Cr = +6


c) $Mg(NO_3)_2$: 1.(+2) + 2.(N) + 6.(-2) = 0 ⇒ N = +5


ç) $NaMnO_4$: 1.(1) + 1.(Mn) + 4.(-2) = 0 ⇒ Mn = +7


d) CO_3^{2-} : 1.(C) + 3.(-2) = -2 ⇒ C = +4


e) NH_4^+ : 1.(N) + 4.(+1) = +1 ⇒ N = -3

1.12. Alıştırma

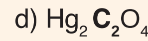
Aşağıda verilen bileşik ve köklerdeki koyu ile yazılmış atomların yükseltgenme basamağını hesaplayınız.

a) $\mathbf{Fe_2}O_3$

b) $Ca\mathbf{C}O_3$

c) $\mathbf{Cl}O_3^-$

ç) $\mathbf{P}O_4^{3-}$


d) $Hg_2\mathbf{C_2}O_4$

1.2 UYGULAMA SORULARI

$_{12}Mg$, $_{30}Zn$, $_{15}P$ atomları için aşağıda verilen soruları cevaplayınız.

a) Atomların elektron dizilimlerini yazarak hangi blokta olduklarını bulunuz.

b) Atomların periyot ve gruplarını bulunuz.

c) Atomları sınıflandırınız.

ç) Atomların kararlı bileşiklerde alabileceği yükseltgenme basamaklarını yazınız.

d) Atomların $_{17}Cl$ atomu ile yapabileceği bağ türü nedir?

e) Atomların metal-ametal karakterini yazınız.

1. ÜNİTE ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A **Aşağıda verilen bilgilere göre soruları cevaplandırınız.**

ATOM MODELİ TARİHSEL SÜRECİ

John Dalton: Atomlar içi dolu, bölünemez kürelerdir. Bir elementin bütün atomlarının kütleleri aynıdır. Farklı element atomlarının kütleleri farklıdır.

Joseph John Thomson: Atomlarda pozitif yüklere eşit sayıda negatif yük bulunur. Bundan dolayı atomlar yüksüzdür. Küre içerisinde pozitif ve negatif yükler homojen dağılmıştır.

Ernest Rutherford: Alfa tanecikleri deneyi ile atom çekirdeğini keşfetmiş ve çekirdeğin atomun merkezinde küçük bir hacimde toplandığını belirtmiştir. Atom kütlesinin çekirdek kütlesinin iki katı olduğunu ifade etmiştir.

Niels Bohr: Elektronlar çekirdek etrafında belirli yarıçap ve belirli enerjili dairesel yörüngelerde yer almaktadır. Bu dairesel yörüngelerin çekirdekten uzaklaştıkça enerjilerinin arttığını belirtmiştir.

Werner Heisenberg: Elektron gibi küçük taneciklerin aynı anda hızının ve konumunun belli olamayacağını belirtmiştir.

Erwin Schrödinger: Elektronların enerjilerini ve genel davranışlarını tanımlayan bir denklem geliştirdi ve bir dalga mekaniği oluşturdu.

Modern Atom Teorisi: Elektronlar belirli enerji seviyesindeki enerji kabuklarında bulunur. Bu kabuklar alt kabuklara ayrılır, alt kabuklarda da elektronların işgal ettiği orbitaller bulunur.

Verilen bilgilere göre aşağıdaki soruları yanıtlayınız.

1. Atom altı parçacıkların varlığı yukarıdaki ifadelerin hangilerinden anlaşılır?

2. Rutherford, atom kütlesinin yarısının + yükler olduğunu öngörmüş diğer yarı hakkında bilgi vermemiştir. Bugünkü bilgilerle Rutherford'un belirtmediği kütle nasıl açıklanabilir?

3. Heisenberg'in ifadesi daha önceki bulgulardan hangilerinin yanlış olduğunu kanıtlamıştır?

4. Schrödinger, dalga mekaniğini oluştururken hangi bilim insanının elektron hakkındaki bulgularından yola çıkmıştır?

5. Bilim insanlarının Modern Atom Teorisi'ne hangi katkıları yaptığını açıklayınız.

B	Aşağıdaki kavramlar ile ilgili verilen bilgileri doğru (D) ya da yanlış (Y) olarak belirtiniz. Yanlış ise nedenini yazınız.

	Kavramlar	D/Y	Yanlış ise Nedenini Yazınız
6.	**Atomun kuantum modeli**		
a)	Elektronun, enerji paketine ve atom orbitali adı verilen bir seri dalga fonksiyonlarına sahip olduğunu Schrödinger göstermiştir.		
b)	Atomun en düşük enerjili hâline uyarılmış hâl denir.		
c)	Elektronların konumu atom etrafında tam olarak tespit edilebilir.		
ç)	n = 2 değeri ℓ= 0,1 değerlerini alabilir.		
d)	ℓ= 2 değeri d orbitalini temsil eder.		
e)	ℓ= 1 değerine sahip bir elektronun m_ℓ değeri -1, 0, +1 olabilir.		
7.	**Periyodik sistem ve elektron dizilimleri**		
a)	Pauli İlkesi'ne göre bir orbitale elektronlar aynı spinli olarak yerleşebilir.		
b)	Aufbau Prensibi'ne göre elektronlar en dıştaki orbitalden başlanarak doldurulur.		
c)	Hund Kuralı'na göre 3p orbitallerine elektronlar şeklinde (↑↓)(↑)( ) yerleşebilir.		
ç)	$_{19}K$ elektron dizilimi $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^1$ şeklindedir.		
d)	$_{21}Sc$ elektron dizilimi $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^1$ şeklindedir.		
8.	**Periyodik özellikler**		
a)	$_{22}Ti$ elementi 4. periyot 4A grubunda yer alır.		
b)	I. İyonlaşma enerjisi $_{12}Mg > _{13}Al$'dır.		
9.	**Elementleri tanıyalım ve yükseltgenme basamağı**		
a)	Metalik bağ kuvveti $_{19}K > _{11}Na$'dur.		
b)	2A grubunda yukarıdan aşağı inildikçe atom yarıçapı artar.		
c)	7A grubundaki tüm elementler bileşiklerinde sadece -1 yükseltgenme basamağına sahip olur.		

C Aşağıdaki kutularda verilen ifadelerden uygun olanları boşluklara yazınız.

hidrojen	bazik	helyum	klor
uyarılmış hâl	asidik	Hund	iki
temel hâl	sıfır	orbital	Aufbau
-2	-1	flor	+1

10. Atoma dışarıdan enerji verilerek bir elektronun daha yüksek bir enerji katmanında bulunması hâline .... denir.

11. Dalga mekaniğine göre elektronun en büyük olasılıkla bulunabileceği elektron bulutuna ....denir.

12. ℓ= 0 olan bir elektronun m_ℓ değeri .... olur.

13. Eş enerji orbitallere elektronların öncelikle teker teker yerleşmesi .... Kuralı'na göre yapılır.

14. Elektronların orbitallere enerjilerine göre yerleşmesi .... Kuralı'na göre yapılır.

15. Hidrojenin metallerle oluşturduğu bileşiklerde .... yükseltgenme basamağına sahip olur.

16. Alkali metaller bileşiklerinde .... yükseltgenme basamağına sahip olur.

17. Ametal oksitlerinin sulu çözeltisi genelde .... özellik gösterir.

18. CaO bileşiğinin sulu çözeltisi .... özellik gösterir.

19. Periyodik cetvelde elektronegatiflik değeri en büyük olan .... elementidir.

20. Periyodik cetvelde atom hacmi en küçük olan .... elementidir.

Ç Aşağıdaki açık uçlu soruları cevaplayınız.

21. Bohr atom modelini açıklayarak bu modelin yetersiz kaldığı konuları belirtiniz.

22. Orbital nedir? Bir enerji düzeyinde bulunabilecek orbital türleri ve sayıları nasıl belirlenir?

23. Heisenberg Belirsizlik İlkesi'ni açıklayınız.

24. Atomun kuantum modelinin gelişmesine Erwin Schrödinger'in katkılarını açıklayınız.

25. 4p orbitalinde bulunan bir elektronun baş kuantum (n), açısal momentum kuantum (ℓ), manyetik kuantum sayılarını (m_ℓ) belirleyiniz.

26. n, ℓ, m_ℓ ve m_s kuantum sayıları, elektronların hangi özelliklerini belirler?

27. Aşağıda verilen orbitallerde bulunan elektronlar için n, ℓ, m_ℓ ve m_s kuantum sayılarını yazınız.
a) $2s^2$ b) $3p^6$ c) $3d^{10}$ ç) $4s^2$ d) $4f^{14}$

28. Aufbau Kuralı, Hund Kuralı ve Pauli İlkesi'ni açıklayınız.

29. Aşağıda verilen orbitallerin enerjilerini büyükten küçüğe doğru sıralayınız.
3d, 2p, 4f, 3p, 4s, 5s, 4p, 6s

30. Aşağıda verilen atom ve iyonların elektron dizilimlerini yazınız.
a) $_{16}S$ b) $_{21}Sc$ c) $_{24}Cr$ ç) $_{30}Zn$ d) $_{25}Mn^{2+}$ e) $_{26}Fe^{3+}$

31. s ve p orbitallerinin maksimum elektron sayılarını belirterek elektron yoğunluğu ve sınır yüzey diyagramlarını gösteriniz.

32. Küresel simetri özelliği nedir? Aşağıda verilen atomların küresel simetri özelliği gösterip göstermediğini belirleyiniz.
a) $_{7}N$ b) $_{13}Al$ c) $_{24}Cr$ ç) $_{25}Mn$ d) $_{30}Zn$ e) $_{35}Br$

33. İzoelektronik tanecik nedir? Aşağıda verilen atom ve iyonların hangileri izoelektroniktir?
$_{20}Ca$, $_{22}Ti^{2+}$, $_{18}Ar$, $_{12}Mg^{2+}$, $_{8}O^{2-}$, $_{20}Ca^{2+}$

34. Değerlik orbitalleri ve değerlik elektronları nedir? $_{8}O$, $_{19}K$, $_{23}V$, $_{33}As$ atomlarının değerlik orbitalleri ve değerlik elektronlarını belirleyiniz.

35. $_{36}Kr$ elementi için

a) Temel hâl elektron dizilimini yazınız.

b) Baş kuantum sayısı (n) 3 olan kaç elektron vardır?

c) Açısal momentum kuantum sayısı (ℓ) 0 olan kaç elektronu vardır?

ç) m_ℓ=1 olan kaç elektron bulunur?

d) ℓ=1, m_ℓ=0 olan kaç elektron vardır?

36. $_{12}Mg$, $_{17}Cl$, $_{24}Cr$, $_{28}Ni$, $_{36}Kr$ elementlerinin periyodik sistemdeki periyot, grup ve bloğunu belirleyiniz.

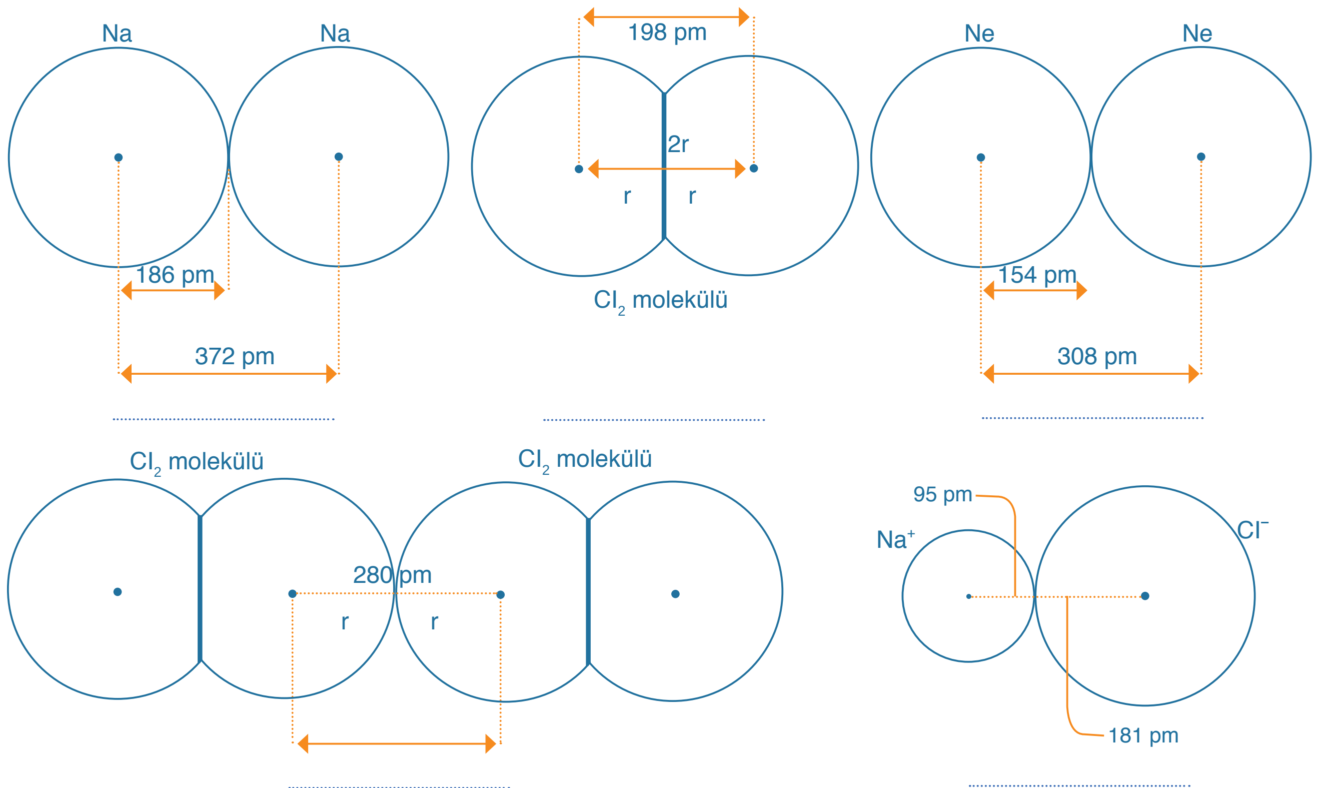
37. Temel hâl elektron diziliminde tam dolu orbital sayısı 11 olan elementin elektron dizilimini yazarak atom numarasını ve periyodik sistemdeki yerini bulunuz.

38. X^{2+} iyonunun elektron dizilimi $3d^2$ orbitali ile bitmektedir. X atomunun periyodik sistemdeki yerini belirleyiniz.

39. Y^{2+} iyonunda 10 tam dolu 4 yarı dolu orbital vardır. Buna göre Y atomunun periyodik sistemdeki yerini bulunuz.

40. Kovalent, van der Waals ve iyonik yarıçap kavramlarını açıklayınız.

41. Aşağıda verilen şekillerde yarıçapların türlerini belirleyiniz.



42. Metalik ve ametalik aktiflik kavramlarını açıklayınız.

43. $_{11}Na$, $_{19}K$, $_{12}Mg$, $_{13}Al$ atomlarını metalik aktifliklerine göre sıralayınız.

44. $_{3}Li$, $_{5}B$, $_{9}F$, $_{10}Ne$, $_{11}Na$, $_{12}Mg$ atomlarının yarıçaplarını büyükten küçüğe doğru sıralayınız.

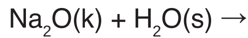
45. İyonlaşma enerjisi nedir? 2. periyot elementlerinin iyonlaşma enerjisi-atom numarası grafiğini çiziniz.

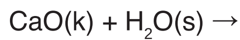
46. $_{11}Na$, $_{12}Mg$, $_{13}Al$ atomlarının 1 ve 2. iyonlaşma enerjilerini karşılaştırınız.

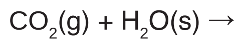
47. Elektron ilgisi ve elektronegatiflik kavramlarını açıklayınız.

48. $_{12}Mg$, $_{16}S$, $_{19}K$ atomlarının elektron ilgilerini ve elektronegatifliklerini karşılaştırınız.

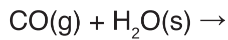
49. Aşağıda verilen tepkimeleri tamamlayınız.


$Na_2O(k) + H_2O(s) \rightarrow$


$CaO(k) + H_2O(s) \rightarrow$


$CO_2(g) + H_2O(s) \rightarrow$

$SO_3(g) + H_2O(s) \rightarrow$


$CO(g) + H_2O(s) \rightarrow$

50. Aşağıda baş grup elementlerinden K, L, M, N'nin ilk beş iyonlaşma enerjileri kJ/mol olarak verilmiştir.

Element	$İE_1$	$İE_2$	$İE_3$	$İE_4$	$İE_5$
K	520	7300	11815	-------	-------
L	1400	2860	4580	7500	9400
M	577	1820	2750	11600	14800
N	495	4560	6900	9540	13400

a) Elementlerin alabileceği değerlik elektron sayısını ve bulunabileceği grubu bulunuz.

b) K elementinin atom numarası kaçtır?

c) M elementinin $_{17}Cl$ elementi ile yapacağı bileşiğin formülü nedir?

51. Aşağıda verilen periyodik özellikler gruplarda ve periyotlarda nasıl değişir? "Artar, azalır veya değişmez" ifadelerini kullanarak tabloyu doldurunuz.

Periyodik özellikler	Periyotlarda Soldan Sağa Gidildikçe	Gruplarda Yukarıdan Aşağı İnildikçe
Atom numarası		
Kütle numarası		
Metalik özellik		
Ametalik özellik		
Elektron ilgisi		
Elektronegatiflik		
İyonlaşma enerjisi		
Atom yarıçapı		
Oksitlerin asitlik özelliği		
Oksitlerin bazlık özelliği		
Değerlik elektron sayısı		

52.

X																	R
Y	T											N				P	
														O			
				L	V				M								
	K																
Z	S																

Yukarıda verilen periyodik sistemden yararlanarak aşağıdaki soruları cevaplayınız.

a) Atom yarıçapı en büyük olan element hangisidir?

b) s, p, d bloğunda yer alan elementleri belirleyiniz.

c) Hangi elementlerin oksidi bazik ya da asidik özellik gösterir?

ç) Y, T, N, P elementlerinin 1. iyonlaşma enerjilerini kıyaslayınız.

d) Elektron dizilimi s^2 ile biten elementleri belirleyiniz.

e) Alkali metal olan elementleri belirleyiniz.

f) Metal olan elementleri belirleyiniz.

g) Küresel simetri özelliği gösteren elementleri belirleyiniz.

53. Aşağıdaki bileşikleri oluşturan elementlerin elektron dizilimlerini yazarak yükseltgenme basamaklarını bulunuz. ($_{8}O$, $_{9}F$, $_{11}Na$, $_{12}Mg$, $_{13}Al$, $_{16}S$, $_{17}Cl$, $_{19}K$)

a) NaF b) K_2O c) $AlCl_3$ ç) MgS

54. Aşağıda verilen bileşik ve iyonlarda altı çizilen elementlerin yükseltgenme basamaklarını belirleyiniz. ($_{12}Mg$, $_{19}K$, $_{20}Ca$)

a) $\underline{Pb}O$

b) $Mg\underline{C}O_3$

c) $K\underline{Cl}O_3$

ç) $Ca\underline{Mn}O_4$

d) $\underline{S}O_4^{2-}$

e) $(\underline{N}H_4)_3PO_4$

f) $\underline{N}H_4\underline{N}O_3$

g) $H\underline{P}O_4^{2-}$

h) $\underline{C}_2O_4^{2-}$

ı) $\underline{Cr}_2O_7^{2-}$

D **Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları cevaplayınız.**

55. Atom modellerinin tarihi gelişim sıralaması hangi seçenekte doğru verilmiştir?

A) Thomson, Dalton, Rutherford, Bohr, Modern Atom modeli

B) Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr, Modern Atom modeli

C) Rutherford, Thomson, Dalton, Bohr, Modern Atom modeli

D) Dalton, Rutherford, Thomson, Bohr, Modern Atom modeli

E) Bohr, Thomson, Dalton, Modern Atom modeli, Rutherford

56. Heisenberg Belirsizlik İlkesi'ne göre elektronun çekirdek çevresindeki yörüngelerde aynı anda belirlenemeyen iki niceliği aşağıdaki seçeneklerden hangisinde doğru verilmiştir?

A) Konum ve yük

B) Kütle ve konum

C) Konum ve hız

D) Yük ve kütle

E) Yük ve hız

57. Baş kuantum sayısı ile ilgili

I. "ℓ" ile gösterilir.

II. Elektronun enerji düzeyini belirler.

III. 0, 1, 2, 3, 4, ……… tam sayı değerlerini alır.

IV. Değeri büyüdükçe elektronun potansiyel enerjisi artar.

verilen yargılardan hangileri doğrudur?

A) I, II, III ve IV B) I, II ve III C) II, III ve IV

D) II ve IV E) II ve III

58. Bir temel enerji düzeyindeki orbitalin uzaydaki yönelişini ………….. sayısı belirler.

Yukarıdaki cümlede boş bırakılan yere aşağıdakilerden hangisi getirilmelidir?

A) Elektron

B) Baş kuantum

C) Spin

D) Manyetik kuantum

E) Açısal momentum kuantum

59. 3. temel enerji düzeyi ile ilgili aşağıdaki seçeneklerden hangisi <u>yanlıştır</u>?

A) Elektron kapasitesi 18'dir.

B) s, p, d orbital türlerini içerir.

C) 3s ve 3p orbitallerinin enerjileri eşittir.

D) Toplam orbital sayısı 9'dur.

E) 2. temel enerji düzeyinden enerjisi büyüktür.

60. 3p orbitalinde bulunan elektronun kuantum sayıları aşağıdaki seçeneklerden hangisinde doğru verilmiştir?

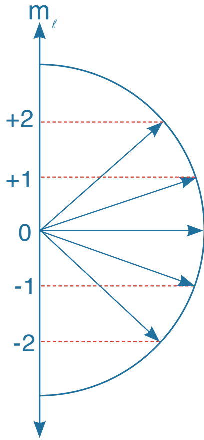
	n	ℓ	m_ℓ	m_s
A)	3	1	-1, 0, +1	$+\frac{1}{2}$ veya $-\frac{1}{2}$
B)	3	0	0	$+\frac{1}{2}$ veya $-\frac{1}{2}$
C)	3	1	-1, 0, +1	$+\frac{1}{2}$
D)	2	3	-1, 0, +1	$+\frac{1}{2}$ veya $-\frac{1}{2}$
E)	3	2	-1, 0, +1	$+\frac{1}{2}$ veya $-\frac{1}{2}$

61. Bir atomda $n=3$, $m_\ell=-1$, $m_s=+\frac{1}{2}$ değerine sahip en fazla kaç elektron bulunur?

A) 2 B) 4 C) 6

D) 8 E) 18

62. Bir orbitalin dış manyetik alandaki yönelimleri şekildeki gibidir.



Bu orbitallerle ilgili

I. Baş kuantum sayısı en az 4'tür.

II. d orbitalidir.

III. Açısal momentum kuantum sayısı ℓ=2'dir.

IV. p orbitalidir.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) I, II ve III B) I, III ve IV C) II ve III

D) III ve IV E) I ve II

63. p orbitali ile ilgili

I. En küçük baş kuantum sayısı 2'dir.

II. Açısal momentum kuantum sayısı 1'dir.

III. Manyetik kuantum sayısı -1, 0, +1 değerlerini alır.

IV. Üç tane eş enerjili orbital içerir.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) I, II ve III B) I, III ve IV C) II, III ve IV

D) I, II ve IV E) I, II, III ve IV

64. Modern Atom Teorisi'ne göre aşağıda verilen yargılardan hangisi yanlıştır?

A) Elektronların bulunma olasılıklarının yüksek olduğu hacimsel bölgeye orbital denir.

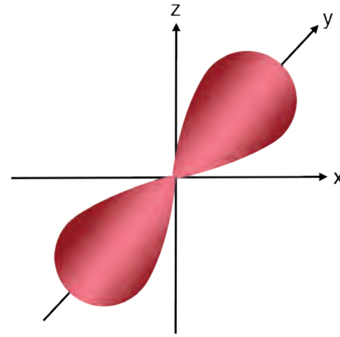
B) Üçüncü enerji düzeyinde iki tür orbital bulunur.

C) Schrödinger, elektronların enerjisini ve davranışlarını tanımlayan dalga denklemini oluşturdu.

D) Modern atom modeline "elektron bulutu modeli" de denir.

E) Birinci enerji düzeyinde, bir orbital ve en fazla iki elektron bulunabilir.

65. Aşağıdaki şekilde baş kuantum sayısı (n) 2 olan bir orbitalin elektron yoğunluğu için sınır yüzey diyagramı verilmiştir.



Bu orbitallerle ilgili

I. $2p_Y$ orbitalidir.

II. 2 loblu hâlde bulunur.

III. Manyetik kuantum sayısı +2 olabilir.

IV. Açısal momentum kuantum sayısı (ℓ) 1'dir.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) I, II ve IV B) I, II ve III C) I, III ve IV

D) II, III ve IV E) II ve IV

2017 LYS

66. Bir atomda baş kuantum sayısı (n) 3 ve açısal momentum kuantum sayısı (ℓ) 2 olan orbitallerde en çok kaç tane elektron bulunabilir?

A) 10 B) 8 C) 6

D) 4 E) 2

67. $_{29}X^{2+}$ **iyonu ve** $_{27}Y$ **atomu ile ilgili**

I. s orbitallerindeki elektron sayısı farklıdır.

II. İzoelektronik taneciklerdir.

III. Yarı dolu orbital sayıları eşittir.

yargılarından hangileri yanlıştır?

A) I, II ve III B) II ve III C) I ve II D) I ve III E) Yalnız III

68. Aşağıda verilen atomlardan hangisi temel hâl elektron dizilimi yapıldığında küresel simetri özelliği gösterir?

A) $_6C$ B) $_9F$ C) $_{16}S$ D) $_{21}Sc$ E) $_{24}Cr$

2017 LYS

69. $_{21}Sc$ **elementiyle ilgili**

I. Elektron dizilimi $4s^2\ 3d^1$ ile sonlanır.

II. 4. periyot 3. grup (III B) elementidir.

III. p orbitallerindeki toplam elektron sayısı 10'dur.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II D) II ve III E) I, II ve III

70. Nötr atomun orbital şeması

olarak verilen K elementi ile ilgili

I. Atom uyarılmış hâldedir.

II. Kararlıdır.

III. Atom uyarılmış hâle geçerken enerji vermiştir.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

2016 LYS

71. AlF_3 bileşiğindeki alüminyum iyonu ve flor iyonu izoelektronik olup flor iyonunun elektron sayısı 10'dur.

Buna göre

I. Al elementi 3. periyot 3A grubundadır.

II. F elementi 2. periyot 7A grubundadır.

III. Bileşikte Al ve F atomları oktetini tamamlamıştır.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

72.

I. Elektronlar öncelikle düşük enerjili orbitallerden başlayarak yerleşir.

II. Elektronlar enerjisi aynı olan orbitallere önce birer birer daha sonra ikinciler zıt yönlü olarak yerleşir.

III. Bir orbitalde zıt spinli en fazla iki elektron bulunur.

Yukarıda elektronların dağılımı ile ilgili verilen bilgilerin ait olduğu kurallar aşağıdakilerin hangisinde doğru eşleştirilmiştir?

	I	II	III
A)	Hund	Pauli	Aufbau
B)	Aufbau	Pauli	Hund
C)	Hund	Aufbau	Pauli
D)	Aufbau	Hund	Pauli
E)	Pauli	Hund	Aufbau

73. 3. temel enerji düzeyindeki 3s, 3p ve 3d orbitalleri ile ilgili

I. Enerji sıralaması 3d > 3p > 3s şeklindedir.

II. 3d orbitali 4. kabukta yer alır.

III. Orbital sayıları 3s'nin bir, 3p'nin üç, 3d'nin beştir.

IV. Elektron kapasitesi en fazla olan 3s orbitalidir.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) I, II, III ve IV B) I, II ve III C) I ve III D) I ve II E) II ve III

74. Nötr bir atomun temel hâl elektron diziliminde iki tane yarı dolu orbitali olan bir elementin periyodik sistemdeki yeri aşağıdakilerden hangisi olamaz?

A) 3. periyot 6A

B) 4. periyot 4B

C) 4. periyot 8B

D) 4. periyot 4A

E) 4. periyot 2A

75. X: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}\ 4p^3$

Y: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^3$

Z: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^4$

T: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^6$

Yukarıda verilen elektron dizilimlerine göre X, Y, Z ve T element atomlarının değerlik elektron sayıları aşağıdaki seçeneklerin hangisinde doğru karşılaştırılmıştır?

A) T > Z > Y > X

B) Z > T > X = Y

C) T > Z > X = Y

D) X > T > Z > Y

E) Y > Z > T > X

76. $_{33}$As elementi ile ilgili

I. En büyük baş kuantum sayısı

II. Son katmanındaki toplam elektron sayısı

III. Grubu

aşağıdakilerden hangisi doğru verilmiştir?

	I	II	III
A)	4	5	5A
B)	4	15	5A
C)	4	5	5B
D)	3	5	5A
E)	3	15	3A

77.

Yukarıda verilen periyodik sistemde yerleri gösterilen elementlerle ilgili aşağıdaki ifadelerden hangisi yanlıştır?

A) Demirin elektron dizilimi [Ar] $4s^2\ 3d^6$ dır.

B) O ve S kalkojenler grubunda, Fe ve Zn B grubundadır.

C) 3. periyot elementlerinin 1. iyonlaşma enerjileri Ar > S > Al > Mg şeklindedir.

D) p bloğunda O, S, Al ve Ar elementleri yer alır.

E) Potasyumun oksit bileşiği suda çözündüğünde bazik özellik gösterir.

2013 LYS

78. $_7$N, $_{15}$P, $_{33}$As elementleri ile ilgili

I. Aynı grupta bulunurlar.

II. Elektron ilgisi en küçük olan N'tur.

III. Birinci iyonlaşma enerjisi en büyük olan As'tir.

IV. Atom yarıçapı en küçük olan N'tur.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) I ve II B) I ve IV C) II ve III

D) II ve IV E) I, II ve III

79. X^{2+}, Y^{+}, Z^{3+} iyonlarının elektron sayıları eşittir.

Y elementi 4. periyot 6B grubunda olduğuna göre X ve Z elementlerinin periyodik sistemdeki grupları aşağıdaki seçeneklerin hangisinde doğru verilmiştir?

	X elementi	Z elementi
A)	8A	8B
B)	7B	4A
C)	7B	8B
D)	8B	4B
E)	7B	2A

80. Aşağıda elektron dizilişi verilen taneciklerden hangisi başka bir atoma aittir?

A) X: $1s^2\ 2s^2\ 2p^4$

B) Y: $1s^2\ 2s^1\ 2p^5$

C) Z^{2-}: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$

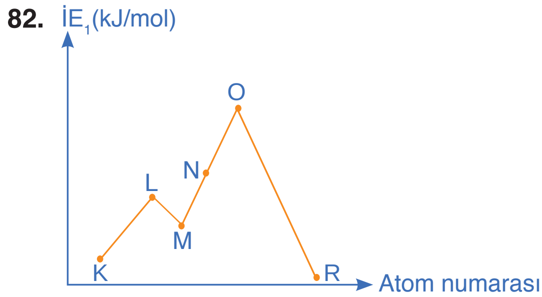
D) T^{2+}: $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$

E) K: $1s^2\ 2s^2\ 2p^3$

81. ANT_3^- iyonunda toplam 32 elektron bulunmaktadır. **Buna göre, N'nin periyodik sistemdeki yeri aşağıdaki seçeneklerin hangisinde doğru verilmiştir? ($_1A$, $_8T$)**

	Periyot	Grup (IUPAC)
A)	2. periyot	4. grup
B)	2. periyot	14. grup
C)	2. periyot	4A
D)	3. periyot	4. grup
E)	3. periyot	4A

82.



Atom numaraları ardışık olan K, L, M, N, O ve R elementlerinin birinci iyonlaşma enerjisi-atom numarası grafiği verilmiştir.

Bu elementlerle ilgili aşağıdaki seçeneklerden hangisi yanlıştır?

A) L, N ve O elementleri küresel simetri özelliği gösterir.

B) Atom yarıçapları arasında R > K > L > M > N > O ilişkisi vardır.

C) O ile R arasında bileşik oluşmaz.

D) N elementinin oksidi asidik özellik gösterir.

E) Periyot numarası en büyük olan element R'dir.

83.

- $X(g) + Q_1$ kkal $\rightarrow X^+(g) + e^-$
- $X^+(g) + Q_2$ kkal $\rightarrow X^{2+}(g) + e^-$
- $X(g) + e^- \rightarrow X^-(g) + Q_3$ kkal
- $X(g) + Q_4$ kkal $\rightarrow X^{2+}(g) + 2e^-$

X elementine ait yukarıda verilen tepkimelerle ilgili

I. Q_1 değeri X elementinin 1. iyonlaşma enerjisini gösterir.

II. Q_4 değeri X elementinin 2. iyonlaşma enerjisini gösterir.

III. Q_3 değeri X elementinin elektron ilgisi değeridir.

IV. $Q_2 > Q_1$ dir.

yukarıda verilen yargılardan hangisi doğrudur?

A) I, II, III ve IV B) I, II ve III C) I, II ve IV

D) I, III ve IV E) I ve II

84.

	X		
			Y
K		Z	

X, Y, Z ve K elementlerinin periyodik **X elementi 3. periyot 2. sıra elementi olduğuna göre aşağıdaki seçeneklerde verilen yargılardan hangisi yanlıştır?**

A) Y elementi 4. periyot 4B grubundadır.

B) s bloğunda X ve K elementleri bulunur.

C) Metalik karakteri en fazla olan K'dir.

D) Değerlik elektron sayıları arasında Y > Z > X > K ilişkisi vardır.

E) Y'nin 9 tane tam dolu 4 tane yarı dolu orbitali vardır.

85. Magnezyum nitrat ve amonyum dikromat bileşiklerindeki azot atomlarının yükseltgenme basamakları toplamı kaçtır?

A) -3 B) -1 C) 0

D) +2 E) +5

86. Aşağıdaki tabloda K, L, M, N ve O baş grup elementlerinin kJ/mol cinsinden ilk dört iyonlaşma enerjileri verilmiştir.

Element	$İE_1$	$İE_2$	$İE_3$	$İE_4$
K	580	1324	8643	11420
L	2370	5185	- - - -	- - - -
M	409	2960	6140	9450
N	800	2340	3960	21400
O	265	708	3674	5390

Buna göre aşağıdaki seçeneklerde verilen yargılardan hangisi yanlıştır?

A) K, L ve O elementleri benzer kimyasal özellik gösterir.

B) K ile O 2A grubunda M ise 1A grubundadır.

C) N'nin elektron dizilimi ns^2 np^1 ile biter.

D) K atomundan bir elektron koparmak O atomundan bir elektron koparmaktan daha zordur.

E) L'nin elektron sayısı 2'dir ve 18. grupta yer alır.

87. Periyodik sistemdeki elementlerle ilgili aşağıda verilen yargılardan hangisi doğrudur?

A) Elektron dizilimi ns^2 ile biten elementlerin hepsi 2A grubundadır.

B) 1A grubundaki elementlerin hepsi metaldir.

C) 7A grubundaki elementlerin hepsi -1 ile +7 aralığında değerlik alır.

D) Soy gazların elektron dizilimleri np^6 ile biter.

E) 2A grubundaki elementlerinin hepsinin elektron dizilimi ns^2 ile biter.

88. CO, NO_2, SO_3 ve MgO bileşikleri ile ilgili aşağıdaki ifadelerden hangisi yanlıştır?

A) SO_3'in sulu çözeltisi KOH ile reaksiyon verir.

B) CO asit ve bazlarla tepkime vermez.

C) MgO ile SO_3 tepkime verir.

D) SO_3 bileşiğinde kükürdün yükseltgenme basamağı +6' dır.

E) CO ve NO_2 nötr oksit, SO_3 asit oksittir.

89. Periyodik sistemin 2. periyodunda bulunan elementlerin elektron alma eğilimleri arttıkça

- İyonlaşma enerjisi
- Elektronegatiflik
- Katman sayısı
- Atom yarıçapı
- Ametalik özellik
- Değerlik elektronu sayısı

yukarıda verilen özelliklerden kaç tanesinin değeri artar?

A) 2 B) 3 C) 4 D) 5 E) 6

2017 LYS

90. Fe_2O_3, MgO ve H_2O bileşikleriyle ilgili

I. Hepsi iyoniktir.

II. Fe_2O_3'te demirin yükseltgenme basamağı +3'tür.

III. H_2O'da oksijenin yükseltgenme basamağı -2'dir.

yargılarından hangileri doğrudur?

($_1H$, $_8O$, $_{12}Mg$, $_{26}Fe$)

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

91. Periyodik sistemin herhangi bir bölümündeki K, L, M ve N elementleri için

I. Atom hacmi en büyük olan N elementidir.

II. L ile M'nin kimyasal özellikleri benzerdir.

III. N ile M aynı periyottadır.

buna göre elementlerin periyodik sistemdeki yerleri için aşağıdakilerden hangisi doğru olabilir?

A)

K	L
M	N

B)

K	L
N	M

C)

K	M
N	L

D)

L	K
N	M

E)

M	N
L	K

2. ÜNİTE GAZLAR

ÜNİTE BÖLÜMLERİ

2.1. GAZLARIN ÖZELLİKLERİ VE GAZ YASALARI

2.2. İDEAL GAZ YASASI

2.3. GAZLARDA KİNETİK TEORİ

2.4. GAZ KARIŞIMLARI

2.5. GERÇEK GAZLAR

ANAHTAR KAVRAMLAR

- Basınç
- Difüzyon
- Doygun buhar basıncı
- Efüzyon
- Faz diyagramı
- Gerçek gaz
- Hacim
- İdeal gaz
- Kısmi basınç
- Kritik basınç
- Kritik sıcaklık
- Mutlak sıcaklık
- Standart/Normal şartlar

İÇERİK

- Gazların betimlenmesinde kullanılan birimler
- Gaz yasaları
- Deneysel yoldan türetilmiş gaz yasaları ile ideal gaz yasası arasındaki ilişki
- Gaz davranışları
- Gaz karışımlarının kısmi basınçları
- Gazların sıkışma/genleşme sürecinde gerçek gaz ve ideal gaz kavramları

1. BÖLÜM

GAZLARIN ÖZELLİKLERİ VE GAZ YASALARI

- *Gazları katı ve sıvılardan ayıran özellikler nelerdir?*
- *Gazların betimlenmesi ve gaz taneciklerinin davranışları nelere bağlı olarak değişir?*
- *Gazların genel özelliklerini ölçme yöntemleri nelerdir?*

Görsel 2.1: *Atmosfer*

Gezegendeki en önemli gaz karışımı olan atmosfer, yer çekimi kuvveti tarafından yeryüzünde ince bir tabaka hâlinde tutulan gaz kütlesidir. Atmosferin kütlesinin yarısı deniz seviyesinden itibaren 5,5 km'lik yüksekliğin alt kısmında yer alır. Dünya'nın basketbol topu büyüklüğünde görülebildiği bir noktadan bakılabilseydi atmosfer ancak 1 mm olarak ölçülebilirdi. Atmosfer; hacimce %78,08 N_2, %20,94 O_2, %0,93 Ar ve yaklaşık %0,05 diğer gazlardan oluşan bir karışımdır. Atmosfer tabakası yerküreyi zararlı ışınlardan korur. Hayat için gerekli olan oksijen, azot, karbon dioksit, su gibi maddeleri sağlayan bu tabakanın zarar görmemesi için küresel boyutta önlemler alınmalıdır (Görsel 2.1).

Gaz davranışlarını açıklayabilmek için gazların genel özelliklerinin ve betimlenmesinde kullanılan birimlerin bilinmesi gerekir. Gaz davranışları, gazların kimyasal özelliklerine bağlı olmayıp fiziksel özelliklerine bağlıdır.

Gazlar, maddenin katı ve sıvı hâline göre en düzensiz ve en yüksek enerjili hâlidir. Katı ve sıvı hâle göre gaz hâlde tanecikler arası boşluk çok fazla, tanecikler arası çekim kuvveti en azdır (Görsel 2.2).

Görsel 2.2: *Gaz, sıvı ve katılarda tanecikler*

Gazların Genel Özellikleri

- Saydamdır ve çoğunluğu renksizdir.
- Belirli bir hacmi ve sınırlı yüzeyi yoktur.
- Bulunduğu kabı doldurarak kabın şeklini alır.
- Hacmi bulundukları kabın hacmine eşittir.
- Kabın her yerinde aynı basıncı yapar.
- Tanecikleri titreşim, öteleme ve dönme hareketi yapar.
- Basınç uygulanarak sıkıştırılabilir (Görsel 2.3).
- Sıcaklık artışı ile genleşebilir.

Görsel 2.3: *Basınçla sıkıştırılan gazların bisiklet tekerleğini şişirmesi*

- Bütün gazlar birbiriyle her oranda homojen olarak karışır.
- Bir maddenin gaz hâlinin özkütlesi o maddenin katı ve sıvı hâline göre çok küçüktür.
- Gaz taneciklerinin enerjisi katı ve sıvı hâldeki taneciklerin enerjisine göre daha fazladır.

Bilgi Kutusu

Bütün gazlar aynı sıcaklık artışı ile eşit oranda genleşir. Bu nedenle "genleşme" gazlar için ayırt edici özellik değildir.

Günlük hayatta gazların birçok özelliğinden yararlanılır. Araç lastiklerinde, çelik tüplerde, oyun topları gibi birçok nesnede gazların sıkıştırılabilme özelliği kullanılır. Özkütlesi havadan küçük olan helyum ve hidrojen gazları zeplin, uçan balon ve seyahat balonlarında kullanılabilir. Hidrojen, bu araçlarda yanıcı olması nedeniyle tercih edilmez. Hidrojen gazı yerine helyum gazı veya ısıtılmış hava kullanılır. Zeplinlerde ilk olarak hidrojen gazı kullanılmış ancak 1937 yılında Hindenburg (Hindenburg) zeplininde yaşanan felaket sonrasında hidrojen gazı kullanımından vazgeçilmiştir (Görsel 2.4). Seyahat balonlarında gazların genleşme özelliğinden yararlanılır (Görsel 2.5).

Görsel 2.4: *Hindenburg kazası*

Görsel 2.5: *Seyahat balonu*

2.1.1. Gazların Betimlenmesinde Kullanılan Özellikler

Gaz taneciklerinin davranışları; sıcaklıklığa, mol sayısına (miktarına), hacmine ve basıncına bağlı olarak değişir.

Sıcaklık (T)

Sıcaklık, taneciklerin ortalama kinetik enerjilerinin bir ölçüsüdür. Genellikle Celsius ölçeğine göre hazırlanmış termometrelerle ölçülür (Görsel 2.6). Celsius ölçeğine göre 1 atm basınçta suyun donma noktası 0 °C, kaynama noktası 100 °C kabul edilir. Bu aralığı 100 eşit parçaya bölen sıcaklık birimine **santigrat (°C)** denir.

Gaz taneciklerinin ortalama kinetik enerjisi mutlak sıcaklıkla doğru orantılıdır. Mutlak sıcaklığın birimi Kelvin'dir (K). Santigrat (t), Kelvin (T) ile sembolize edilir. Santigrat birimi (°C)

$$T\ (K) = t\ (°C) + 273$$

bağıntısıyla Kelvin (K) birimine dönüştürülür.

Görsel 2.6: *Termometre*

Bu eşitlikte 273 sayısı gerçekte 273,15'tir. Ancak işlem kolaylığı için bu sayı 273 alınır.

Gazlarla ilgili hesaplamalarda sıcaklık birimi olarak Kelvin (K) kullanılır.

Tablo 2.1: *Metreküpün Katları ve Askatları*

1 $m^3 = 1.10^9$ mm^3
1 $m^3 = 1.10^6$ cm^3
1 $m^3 = 1.10^3$ dm^3
Metreküp
1 $m^3 = 1.10^{-3}$ dam^3
1 $m^3 = 1.10^{-6}$ hm^3
1 $m^3 = 1.10^{-9}$ km^3

Mol Sayısı (n)

Gazın miktarı mol sayısı ile ifade edilir. Sabit sıcaklıkta bir gazın mol sayısının değişimi, basıncını ya da hacmini doğru orantılı olarak etkiler.

Hacim (V)

Bir maddenin hacmi, o maddenin kapladığı alan olarak ifade edilebilir. Gazların katı, sıvılar gibi belirli ve sabit bir hacimleri yoktur. Gazın hacmi bulunduğu kabın hacmine eşittir.

Gazların hacimleri sıcaklık ve basınçtan oldukça fazla etkilenir. Bu nedenle gazların hacimleri verilirken sıcaklık ve basınç koşullarının da belirtilmesi gerekir.

Hacim birimi olarak genellikle litre (L), metreküp (m^3), desimetreküp (dm^3), santimetreküp (cm^3), mililitre (mL) kullanılır (Tablo 2.1). Hacim birimleri arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir:

$$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$$
$$1 \text{ L} = 1000 \text{ cm}^3 = 1000 \text{ mL}$$
$$1 \text{ mL} = 1 \text{ cm}^3$$

Bilgi Kutusu

0 °C sıcaklık ve 1 atmosfer basınç koşullarına "normal koşullar (NK) veya normal şartlar (NŞ)" denir.

Normal koşullarda 1 mol gaz 22,4 L hacim kaplar.

25 °C sıcaklık ve 1 atmosfer basınç koşullarına oda koşulları veya standart koşullar denir.

Standart koşullarda 1 mol gaz 24,5 L hacim kaplar.

Basınç (P)

Bir bisiklet lastiği şişirilirse veya şişmiş bir balon sıkıştırılırsa hapsedilmiş havadan kaynaklanan bir karşı koyma kuvveti gözlemlenir. Bir gazın basıncı (P), gazın uyguladığı kuvvetin (F), kuvvetin uygulandığı alana (A) bölümüdür.

$$P = \frac{F}{A}$$

Kuvvet birimi Newton (N), Yüzey birimi metrekare (m^2) alınırsa basınç birimi $\frac{N}{m^2}$ = Pascal (Pa) olur. 1 Pa = 1 $kg.m^{-1}.s^{-2}$

SI birim sisteminde basınç birimi Pascal (Pa) ise de yaygın olarak kullanılan diğer basınç birimleri de vardır. Bu birimler; atm, Torr, mmHg, cmHg'dır.

Gaz basıncı, gaz taneciklerinin bulunduğu kabın çeperlerine yaptığı çarpmalardan kaynaklanır. Gazlarda basınç birimi olarak genellikle atmosfer (atm) kullanılır.

Basınç birimleri arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir.

1 pascal (Pa) = 1 N/m^2 = 1 $kg/m.s^2$

1 bar = 10^5 Pa

1 atm = 101325 Pa

1 atm = 76 cmHg = 760 mmHg

1 atm = 760 torr

1 mmHg = 1 torr

Örnek

19 cmHg basıncın aşağıda belirtilen birimlerde değeri nedir?

a) atm b) torr c) Pa ç) mmHg

Çözüm

a) 1 atm 76 cmHg
X atm 19 cmHg ⇒ $X = \frac{1.19}{76} = 0{,}25$ atm

b) 76 cmHg 760 torr
19 cmHg X torr ⇒ $X = \frac{760.19}{76} = 190$ torr

c) 76 cmHg 101325 Pa
19 cmHg X Pa ⇒ $X = \frac{19.101325}{76} \cong 25331$Pa

ç) 76 cmHg 760 mmHg
19 cmHg X mmHg ⇒ $X = \frac{760.19}{76} = 190$ mmHg

2.1. Alıştırma

Aşağıda verilen basınç değerlerini istenilen birimlere dönüştürünüz.

a) 380 mmHg ………………… atm

b) 1,25 atm …………………… cmHg

c) 1000 bar …………………... atm

ç) 3 atm……………………….. Pa

d) 190 mmHg………………… torr

e) 303975 Pa………………..... mmHg

Gaz Basıncı ve Ölçülmesi

Atmosfer gazları diğer tüm maddeler gibi Dünya'nın yer çekimi kuvvetinin etkisi altındadır. Atmosferin yeryüzüne yakın kısımları atmosferin yüksek kısımlarına göre daha yoğundur. (9 km yükseklikteki bir uçağın basınç kabininin dışındaki havanın yoğunluğu nefes almak için çok azdır.) Havanın yoğunluğu yer yüzeyinden uzaklaştıkça hızlı bir şekilde azalır. Yeryüzüne yaklaştıkça hava yoğunluğu arttığı için havanın uygulayacağı basınç da artar. Yeryüzündeki herhangi bir alana uygulanan kuvvet, alanın üzerindeki hava kesitinin ağırlığına eşittir. **Atmosfer basıncı**, atmosferdeki gazlar tarafından uygulanan basınçtır (Görsel 2.7). Atmosfer basıncının gerçek değeri, yerküredeki konuma, sıcaklık ve hava koşullarına bağlıdır. Atmosfer basıncı $\mathbf{P_{atm}}$ veya $\mathbf{P_0}$ ile gösterilir.

Görsel 2.7: *Atmosfer basıncı*

Atmosfer basıncı sadece aşağı doğru mu etki eder? Bir parça kâğıdı her iki elinizle başınızın üzerinde gergin olarak tutarsanız ne olur? Kâğıt, üzerindeki hava basıncının etkisiyle kıvrılmaz, bunun nedeni havanın da su gibi akışkan olmasıdır. Atmosfer içindeki gazlardan oluşan hava akışkanının bir cisme uyguladığı basınç da sağdan, soldan, aşağı ve yukarıdan yani tüm yönlerden gelmektedir. Molekül düzeyinde düşünüldüğünde hava basıncı hava moleküllerinin değdiği herhangi bir yüzey arasındaki çarpışmalardan doğar. Basıncın büyüklüğü, moleküllerin yüzeye çarpma sıklığına ve kuvvetine bağlıdır. Kâğıdın üzerine çarpan moleküller olduğu gibi altına çarpan moleküller de vardır. Kâğıt bu nedenle düz kalır.

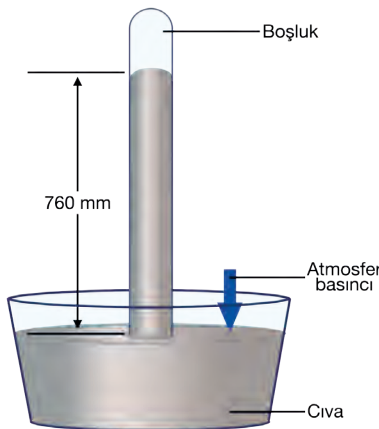
Bilgi Kutusu

Torricelli'nin barometrede cıva kullanmasının nedenleri

- *Akışkan olması*
- *Özkütle büyüklüğünün kullanılan boru yüksekliğini etkilemesi*
- *Uçuculuğunun az, buhar basıncının düşük olması*
- *Kaynama noktasının yüksek olması*
- *Kolay tepkime vermemesidir.*

Atmosfer basıncı nasıl ölçülür? **Barometre** atmosfer basıncını ölçen bir düzenektir. Basit bir barometre bir ucu kapalı ve içi cıva ile doldurulmuş uzun bir cam tüpten ibarettir. Bu tüp, hava girmeyecek şekilde bir cıva kabının içerisine ters çevrilerek yerleştirildiğinde tüpteki bir miktar cıva, tüpün yukarısında bir boşluk bırakarak aşağı doğru akar. Tüpte kalan cıvanın ağırlığı, kaptaki cıvanın yüzeyine etki eden atmosfer basıncı tarafından dengelenir. Bu nedenle cıva sütununun yüksekliği atmosfer basıncının bir ölçüsü olarak kullanılabilir.

Standart atmosfer basıncı (1 atm), deniz seviyesinde ve 0 °C'de tam olarak 760 mm (veya 76 cm) yükseklikte bir cıva sütununun basıncına eşittir. Diğer bir deyişle standart atmosfer basıncı 760 mmHg basıncına eşittir. mmHg birimi barometreyi keşfeden İtalyan bilim insanı Evangelista Torricelli (Evangelist Toriçelli) anısına, torr olarak da adlandırılır (Görsel 2.8). Deniz seviyesinden yükseklere çıkıldıkça atmosfer tabakasının kalınlığının azalmasıyla atmosfer basıncı da azalır. Günümüzde atmosfer basıncı modern barometrelerle ölçülmektedir (Görsel 2.9).



Görsel 2.8: *Torricelli barometresi*

Görsel 2.9: *Modern barometre*

Gaz moleküllerinin oluşturduğu toplam kuvvetin ölçülmesinin zor olması nedeniyle $\mathbf{P = \frac{F}{A}}$ denkleminin gazlara uygulanması güçtür.

Bir gazın basıncı, sıvı basıncıyla kıyaslanarak dolaylı yoldan ölçülür. Sıvı basıncı, sıvı yüksekliği (h) ve sıvının özkütlesi (d) ile doğru orantılıdır. Sıvı basıncı, kullanılan cam tüpün şekli ve kesitine bağlı değildir.

Bir sıvı, açık hava basıncının ve sıcaklığın aynı olduğu yerde Görsel 2.10'daki gibi farklı şekil ve hacimdeki kaplara konulduğunda sıvı yükseklikleri eşit olur.

Sıvı basıncı $\mathbf{P = h\,d\,g}$ formülü ile hesaplanır.

Formülde P basıncı, h sıvı yüksekliğini, d sıvı özkütlesini, g yer çekimi ivmesini gösterir. Barometredeki yükseklik; kullanılan sıvının özkütlesine, mutlak sıcaklığına, açık hava basıncına ve tüpteki gazın basıncına bağlıdır.

Görsel 2.10: *Farklı şekil ve hacimlerdeki kaplarda eşit seviyedeki sıvı yükseklikleri*

Barometrede cıva yerine farklı sıvılar kullanılırsa sıvı yüksekliği

$$h_{Hg}\,d_{Hg} = h_X\,d_X$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Örnek

Atmosfer basıncının 750 mmHg olduğu bir ortamda cıvalı barometre ile ölçüm yapılmaktadır. Barometrede cıva yerine su kullanılırsa yükseklik kaç cm olur? (d_{Hg}= 13,6 g/cm^3, d_{su}= 1 g/cm^3)

Çözüm

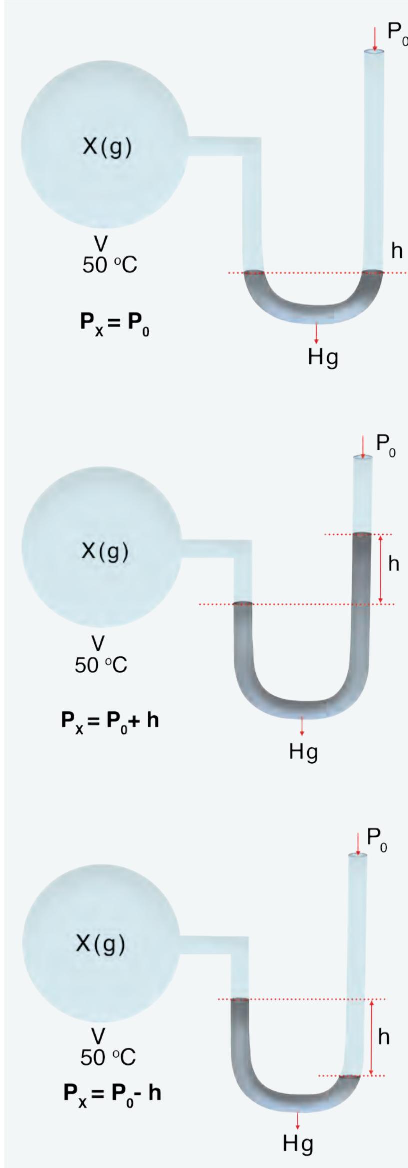
Barometrede cıva yüksekliği ortam basıncına eşit olur. Bu durumda cıva yüksekliği 750 mm = 75 cm

$h_{Hg}\,d_{Hg} = h_{su}\,d_{su}$

$75 \,.\, 13{,}6 = h_{su}\,.1$ $\qquad h_{su}= 1020$ cm olur.

2.2. Alıştırma

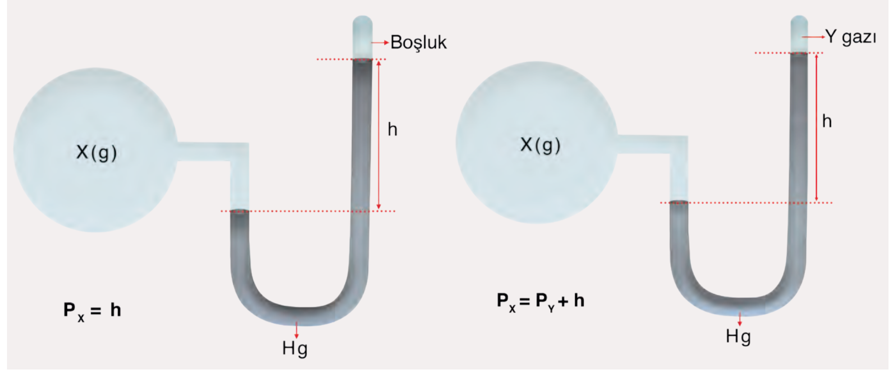
Barometrede özkütlesi 2,72 g/cm^3 olan X sıvısı kullanıldığında yükseklik 350 cm ölçülüyor. Barometrenin bulunduğu ortamda açık hava basıncı kaç mmHg'dır? (d_{Hg}=13,6 g/cm^3)



Görsel 2.12: *Açık uçlu manometreler*

Kapalı kaplardaki gaz basıncı **manometre** ile ölçülür. Kapalı (Görsel 2.11) ve açık uçlu (Görsel 2.12) olmak üzere iki çeşit manometre vardır.

Manometre, bir ucu gaz kabına bağlanmış U şeklindeki bir borudan oluşur. Borunun diğer ucu atmosfere açık veya kapatılmış olabilir. Açık uçlu manometre için sistemdeki basınç, U borusunun her iki kolundaki sıvı seviyeleri aynı olduğunda atmosfer basıncına eşittir. Açık manometrenin sistem tarafındaki cıva seviyesi atmosfer tarafındaki cıva seviyesinin daha üzerinde ise sistemin basıncı atmosfer basıncından daha düşük, altında ise daha yüksektir. Kapalı uçlu manometrede bir taraf kapalı bir balona (sistem) bağlıdır, diğer taraf ise vakumdur. İki sütunun yükseklikleri arasındaki farklılık sistemin basıncıyla doğru orantılıdır.



Görsel 2.11: *Kapalı uçlu manometreler*

2.1.2. Gaz Yasaları

Gazların; özelliklerini, basınç, hacim, miktar ve sıcaklıkla ilişkilerini açıklayan yasalar “gaz yasaları” olarak bilinir. Gazların özellikleri ile ilgili ilk güvenilir ölçümler Robert Boyle (Rabırt Boyl) tarafından 1662 yılında, hacim üzerine basıncın etkisini incelenmesiyle yapılmıştır. Yaklaşık yüz elli yıl sonra yeni bir eğlence olan sıcak havalı balon uçurma, iki Fransız bilim insanı olan Jacques Charles (Jak Şarl) ve Joseph Louis Gay Lussac’ı (Jozef Luvi Gey Lüsak) gaz yasalarını formülleştirmeleri konusunda cesaretlendirmiştir. Gay Lussac ve Charles, bir gazın sıcaklığının, o gazın basıncını, hacmini ve yoğunluğunu nasıl etkilediğini ölçmüşlerdir. İtalyan bilim insanı Amedeo Avogadro (Amedeo Avogadro), hacim ile gaz moleküllerinin miktarı arasında ilişki kurarak atom gerçeği ile ilgili çalışmalara katkıda bulunmuştur.

a) Gazların Özelliklerine İlişkin Yasalar (Boyle, Charles, Gay Lussac ve Avogadro)

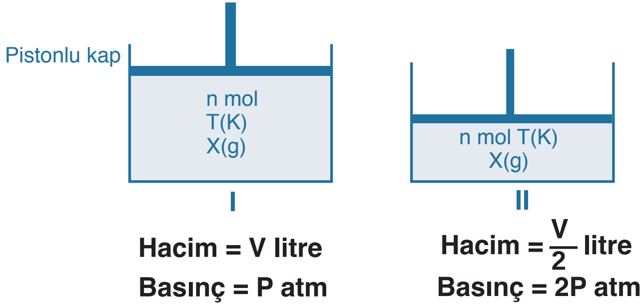
Boyle Yasası

Sabit mol sayısı ve sıcaklıktaki bir gazın hacmi azaltılırsa birim hacme düşen tanecik sayısı artacağından basınç da artacaktır. Gazın hacmi arttırıldığında ise basıncı azalır.

Robert Boyle (Görsel 2.13), sabit mol sayısı ve sıcaklıktaki bir gazın hacmi ile basıncının ters orantılı olduğunu veya bir gazın basınç ile hacim çarpımının sabit bir değer olduğunu ifade etmiştir (Görsel 2.14 ve Grafik 2.1). Bu ifade **Boyle Yasası** olup matematiksel olarak

$V \propto \frac{1}{P}$ veya PV = sabit (n ve T sabit) şeklinde ifade edilir.

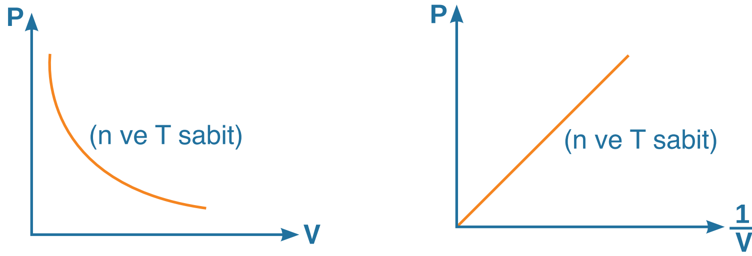
Görsel 2.13: *Robert Boyle (Temsilî)*



Hacim = V litre
Basınç = P atm

Hacim = $\frac{V}{2}$ litre
Basınç = 2P atm

Görsel 2.14: *Mol sayısı ve sıcaklık sabit iken basınç hacim değişimi*



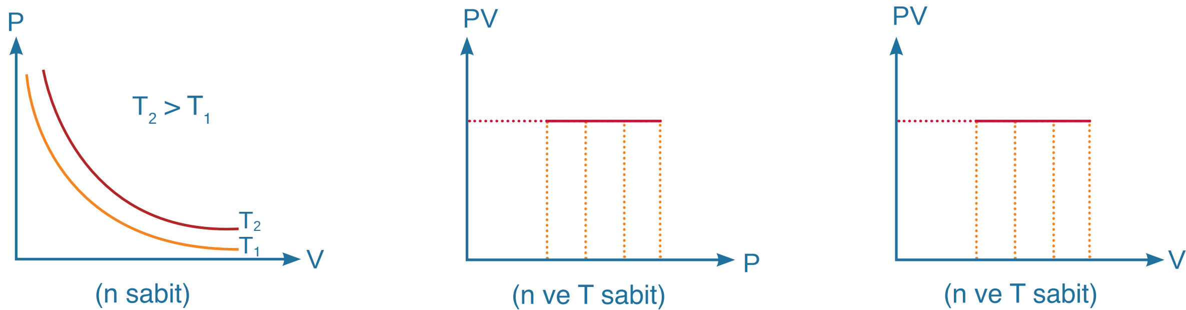
Grafik 2.1: *Basınç hacim grafikleri*

Bu durumda n ve T sabit iken

$$P_1V_1 = P_2V_2 = ... = P_nV_n = \text{sabit olur.}$$

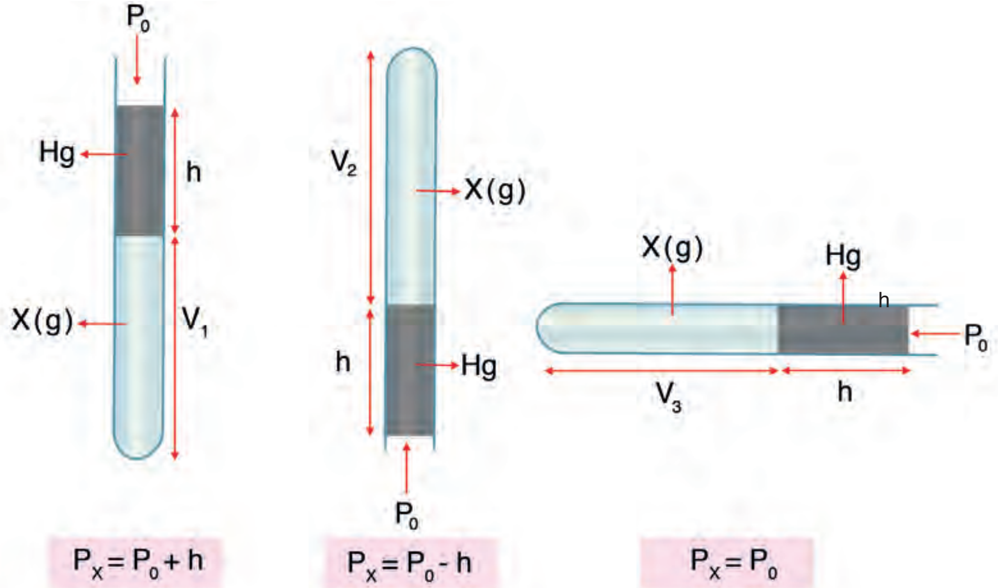
Boyle Yasası'ndan yararlanarak hesaplama yapılırken hacim ve basınç birimi olarak hangi birimin kullanıldığı önemli değildir. Hacim ve basınç birimleri eşitliğin her iki tarafında aynı olmalıdır.

Boyle Yasası'na göre basınç hacim çarpımı (PV) mutlak sıcaklıkla doğru orantılıdır. Mutlak sıcaklık arttıkça PV değeri de artar. n ve T sabit olduğunda hacim ve basınç değişimi PV değerini değiştirmez (Grafik 2.2).



Grafik 2.2: *Basınç-hacim ilişkisi grafikleri*

Cıva ile kapatılan gazların bulunduğu tüplerde (kılcal borularda), mol sayısı ve sıcaklık sabit iken PV değeri sabittir. Bu tür kaplarda basınç değeri Görsel 2.15'te belirtilen şekilde hesaplanır.



Görsel 2.15: *Cıva ile kapatılmış kılcal borularda basınç-hacim ilişkisi*

Örnek

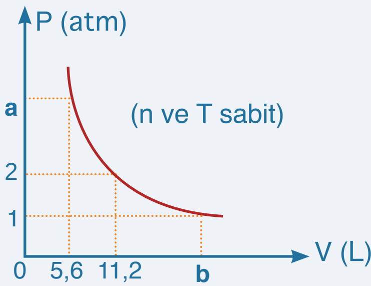
Mol sayısı ve sıcaklığın sabit olduğu pistonlu bir kapta hacim 80 mL, basınç 1 atmosferdir. Hacim kaç mL olduğunda basınç 4 atmosferdir?

Çözüm

n ve T sabit iken

$P_1V_1 = P_2V_2$ formülü kullanılır. $1.80 = 4.V_2$ $V_2 = 20$ mL

Örnek



Şekildeki grafikte X gazının basınç-hacim değerleri verilmiştir.

Buna göre grafikteki a ve b değerleri kaçtır?

Çözüm

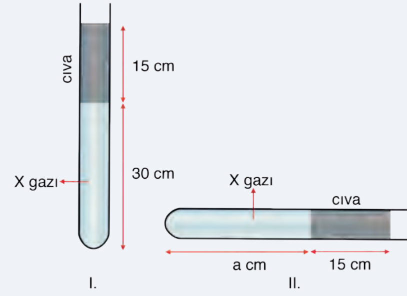
n ve T sabit iken $P_1V_1 = P_2V_2$ formülü kullanılır.

$2.11,2 = a.5,6$ a = 4 atm

$2.11,2 = 1.b$ b = 22,4 L

Örnek

Atmosfer basıncının 75 cmHg olduğu bir ortamda sabit sıcaklıkta, Şekil-I'deki düzenek Şekil-II hâline getiriliyor. Buna göre Şekil-II'deki a değeri kaç santimetredir?



Çözüm

Şekil-I'de $P_X = P_0 + 15$ $P_X = 75 + 15 = 90$ cmHg

Şekil-II'de $P_X = P_0 = 75$ cmHg

$P_1V_1 = P_2V_2$ $90.30 = 75.a$ $a = 36$ cm

2.3. Alıştırma

2 L hacim kaplayan bir miktar gazın sabit sıcaklıkta basıncı 32 cmHg'dır. Bu gazın hacmi 400 mL azaltılırsa basıncı kaç mmHg olur?

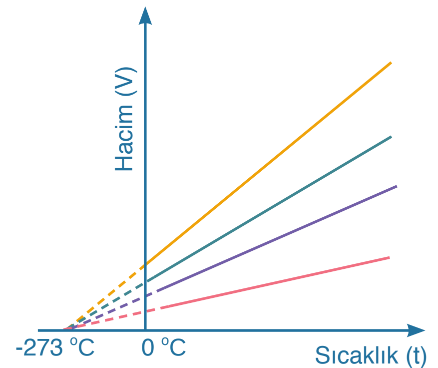
Charles Yasası

Gazların özelliklerinden biri de sıcaklıkla hacimlerinin değişmesidir. Katı ve sıvılarda sıcaklıkla genleşme ayırt edici bir özellik olduğu hâlde gazlar için bu özellik ayırt edici değildir. Çünkü bütün gazlar aynı sıcaklık artışı ile aynı oranda genleşir. Jacques Charles (Ceks Çarls) (Görsel 2.16) 1787 yılında H_2, CO_2, O_2, N_2 gibi gazların eşit mol sayısındaki miktarlarının 0 °C'den 80 °C'ye kadar ısıtılmaları sırasında aynı oranlarda genişlediğini gözlemiştir.

Görsel 2.16: *Jacques Charles (Temsilî)*

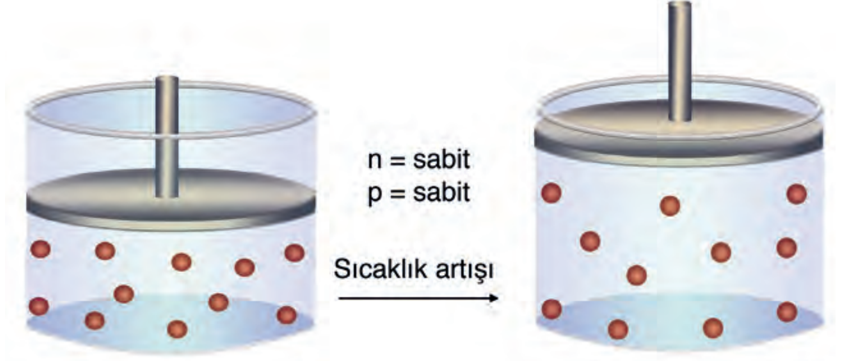
Gaz taneciklerinin sahip olduğu ortalama kinetik enerji mutlak sıcaklık ile doğru orantılıdır. Basıncı ve mol sayısı sabit tutulan bir gazın sıcaklığı arttırıldığında moleküllerin ortalama kinetik enerjisi artar. Bu durumda birim hacimdeki basıncın değişmemesi için gazın hacmi artar. Sonuç olarak sıcaklığı artan bir gaz genleşmiş olur.

Charles Yasası çok önemli bir çıkarıma sahiptir. Farklı basınçlardaki farklı gazların sıcaklık-hacim grafiği çizildiğinde elde edilen düz doğrular sıcaklık eksenine doğru uzatıldığında gazların hepsinin -273,15 °C'de sıfır hacme ulaştığı bulunmuştur. Bu noktaya gerçekte ulaşmak çok zordur. Çünkü bir gaz sıfır hacme sahip değildir. Bütün gazlar bu düşük sıcaklığa ulaşmadan önce yoğunlaşarak sıvı hâle geçer. Hacim değeri negatif olamayacağından -273,15 °C olabilecek en düşük sıcaklık olmalıdır. Bu değer Kelvin ölçeğinin sıfır noktasına karşılık gelir. -273,15 °C veya 0 K değerine mutlak sıfır noktası denir (Grafik 2.3). Bu sıcaklıkta hiçbir madde gaz hâlde bulunamaz.



Grafik 2.3: *Mutlak sıfır noktası*

Gaz yasalarında mutlak sıcaklıkla (T) işlem yapılır. Charles Yasası'na göre basıncı ve mol sayısı sabit tutulan bir gazın hacmi, mutlak sıcaklığı ile doğru orantılıdır (Görsel 2.17).

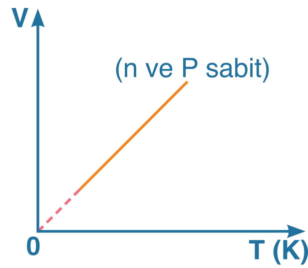


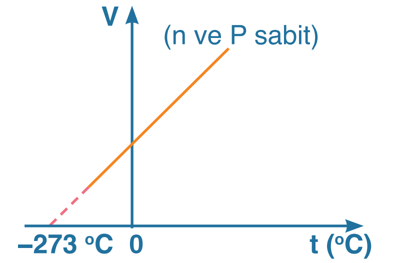
Görsel 2.17: *Hacim-sıcaklık ilişkisi*

$$V \propto T \quad \text{veya} \quad \frac{V}{T} = \text{sabit}$$

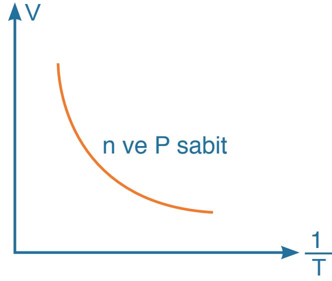
$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \dots\dots\dots\dots = \frac{V_n}{T_n} = \text{sabit}$$

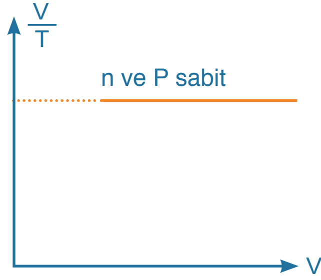
Bu bağıntılardan bir gazın miktarı ve basıncı sabit olmak şartıyla mutlak sıcaklık iki katına çıkarıldığında gazın hacminin iki katına çıktığı sonucuna ulaşılır (Grafik 2.4). Gazlarda hacim-sıcaklık grafikleri Grafik 2.5'te verilmiştir.

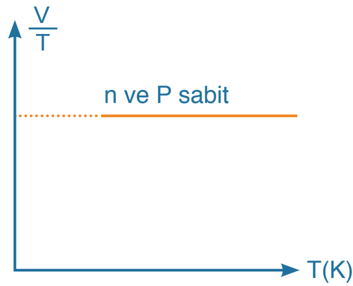




Grafik 2.5: *Sıcaklık-hacim ilişkisi*



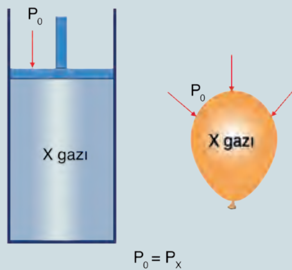




Grafik 2.4: *Sıcaklık hacim grafikleri*

Bilgi Kutusu

Sürtünmesiz serbest hareketli pistonlu kaplarda ve elastik balonlarda basınç sabittir.



Örnek

Bir miktar gazın sabit basınçta sıcaklığı 127 °C, hacmi 400 mL'dir. Gazın hacminin 800 mL'ye çıkarılabilmesi için sıcaklığı kaç °C olmalıdır?

Çözüm

n ve P sabit iken $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ $T_1 = t_1 + 273$ $T_2 = 127 + 273 = 400$ K

$\frac{400}{400} = \frac{800}{T_2}$ $T_2 = 800$ K $800 = t_2 + 273$ $t_2 = 527$ °C olur.

Örnek

Sabit basınçta belirli miktar gaz 27 °C'de 360 mL hacim kaplamaktadır. Sıcaklık 177 °C'ye çıkarılırsa gazın hacmi kaç mL olur?

Çözüm

n ve P sabit iken $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ $\quad T = t + 273 \quad T_1 = 27 + 273 = 300$ K $\quad T_2 = 177 + 273 = 450$ K

$\frac{360}{300} = \frac{V_2}{450}$ $\quad V_2 = 540$ mL olur.

2.4. Alıştırma

Sabit basınçlı üç ayrı kapta bulunan A, B ve C gazlarının sıcaklıkları aşağıda verilen T_1 değerinden T_2 değerine getiriliyor.

	A (g)	B(g)	C(g)
T_1	30 °C	200 K	0 °C
T_2	60 °C	400 K	273 °C

Buna göre A, B ve C gazlarından hangilerinin hacmi iki katına çıkar? Açıklayınız.

Gay Lussac Yasası

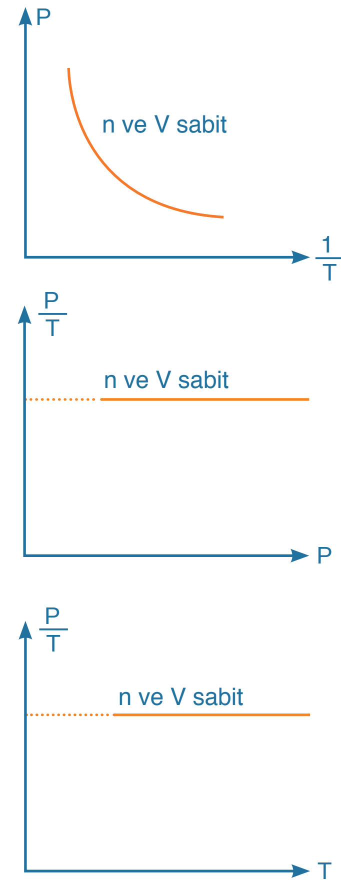
Sabit hacimli bir kapta bulunan belirli miktardaki gazın sıcaklığı arttırıldığında taneciklerin ortalama kinetik enerjisi ve hızı artar. Hızı artan gaz taneciklerinin kabın yüzeyine yaptığı etkin çarpışma sayısı ve şiddeti artacağından gazın basıncı artar. Sıcaklık azaltıldığında ise gaz basıncı azalır.

Gay Lussac Yasası'na göre hacmi ve mol sayısı sabit tutulan bir gazın basıncı, mutlak sıcaklık ile doğru orantılıdır.

$$P \propto T \quad \text{veya} \quad \frac{P}{T} = \text{sabit}$$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \cdots\cdots = \frac{P_n}{T_n} = \text{sabit}$$

Bu bağıntılardan bir gazın miktarı ve hacmi sabit olmak kaydıyla, mutlak sıcaklık iki katına çıkarıldığında gazın basıncının da iki katına çıktığı sonucuna ulaşılır. Gazlarda basınç-sıcaklık grafikleri Grafik 2.6 ve Grafik 2.7'de verilmiştir.



Grafik 2.6: *Basınç sıcaklık ilişkisi*

***Grafik 2.7:** Basınç-sıcaklık ilişkisi*

Örnek

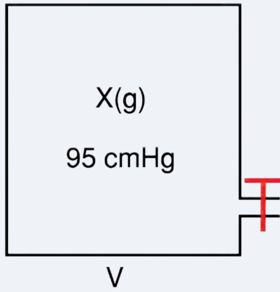
İki litrelik sabit hacimli bir kapta bulunan bir miktar gazın 27 °C'deki gaz basıncı 6 atm'dir. Buna göre kaç °C'de gaz basıncı 4 atm olur?

Çözüm

n ve V sabit iken $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$ T (K) = t (°C) + 273

$T_1 = 27 + 273 = 300$ K $\frac{6}{300} = \frac{4}{T_2}$ $T_2 = 200$ K t = 200 - 273 = -73 °C olur.

Örnek



Şekildeki sabit hacimli kapta bulunan X gazının basıncı 95cmHg, sıcaklığı 27 °C'dir. Mutlak sıcaklık iki katına çıkarıldığında gazın basıncı kaç cmHg olur?

Çözüm

$T_1 = 27$ °C + 273 = 300 K $P_1 = 95$ cmHg

Mutlak sıcaklık iki katına çıkarılınca $T_2 = 600$ K, basınç P_2 olur.

$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \Rightarrow \frac{95}{300} = \frac{P_2}{600}$ $P_2 = 190$ cmHg

2.5. Alıştırma

Sabit hacimli bir kapta 127 °C'de 1520 mmHg basınç yapan bir gazın sıcaklığı 27 °C'ye düşürülürse basıncı kaç atm olur?

Avogadro Yasası

İtalyan bilim insanı Amedeo Avogadro'nun gazlarla ilgili çalışması, Boyle, Charles ve Gay Lussac'ın çalışmalarını tamamlamıştır. Avogadro 1811'de aynı sıcaklık ve basınçta, farklı gazların eşit hacimlerinin aynı sayıda molekül (gaz tek atomlu ise atom) içereceğini belirten bir hipotez ileri sürmüştür.

$V \propto n$

$V = kn$ burada n mol sayısı ve k orantı sabitidir. Eşitlik Avogadro Yasası'nın matematiksel ifadesidir.

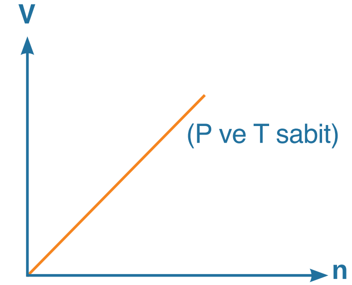
Avogadro Yasası'na göre aynı sıcaklık ve basınçta (aynı koşullarda) bulunan gazların mol sayıları ile hacimleri doğru orantılıdır (Grafik 2.8).

$$\frac{n_1}{V_1} = \frac{n_2}{V_2} = \dots\dots\dots\dots = \frac{n_n}{V_n} = \text{sabit}$$

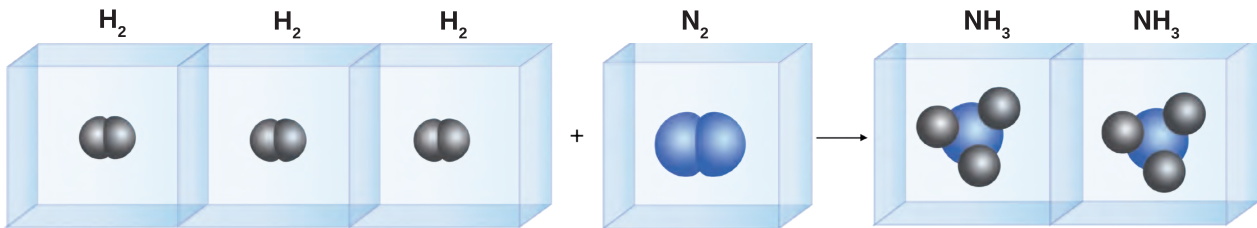
Avogadro Yasası'na göre iki gaz tepkimeye girdiğinde bu gazların hacimleri arasında basit bir oran vardır. Ürün bir gaz ise bu gazın hacmi ile tepkimeye giren gazların hacimleri arasında basit bir oran bulunur. Örneğin hidrojen ve azot moleküllerinden amonyak sentezi Görsel 2.18'de gösterilmiştir.

Bilgi Kutusu

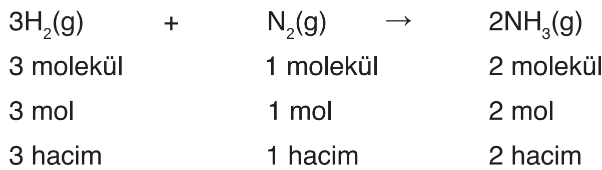
Molar hacim *maddenin bir molünün kapladığı hacme denir. Gazların molar hacmi, basınç ve sıcaklığa bağlı olarak değişir.*



Grafik 2.8: *Hacim mol ilişkisi*



Görsel 2.18: *Amonyak sentezinde gazların hacim mol ilişkisi*



$3H_2(g)$	+	$N_2(g)$	→	$2NH_3(g)$
3 molekül		1 molekül		2 molekül
3 mol		1 mol		2 mol
3 hacim		1 hacim		2 hacim

Aynı sıcaklık ve basınçta, gazların hacmi mol sayısıyla doğru orantılıdır.

Örnek

Belirli sıcaklık ve basınçtaki bir kapta 16 gram SO_2 gazının 2 L hacim kapladığı koşullarda 8 gram CH_4 gazı kaç litre hacim kaplar? (H:1, C:12, O:16, S:32)

Çözüm

SO_2'nin molekül kütlesi (M_A) = 32 + 2.16 = 64

SO_2'nin mol sayısı, $n = \frac{m}{M_A} \Rightarrow n = \frac{16}{64} = 0,25$ mol

CH_4'ün mol sayısı, $n = \frac{m}{M_A} \Rightarrow n = \frac{8}{16} = 0,5$ mol

CH_4 ve SO_2 gazları aynı koşullarda olduğuna göre

$\frac{n_1}{V_1} = \frac{n_2}{V_2}$ formülünden $\frac{0,25}{2} = \frac{0,5}{V_2}$ $V_2 = 4$ L'dir.

Örnek

Belirli bir sıcaklıkta hareketli pistonlu bir kapta 0,3 mol N_2 gazı 7 L hacim kaplamaktadır. Sıcaklık değiştirilmeden kaba 50,8 gram daha N_2 gazı ilave edilirse kabın hacim kaç litre olur? (N: 14)

Çözüm

$n_1 = 0,3$ mol $V_1 = 7$ L

$n = \frac{m}{M_A} \Rightarrow n = \frac{50,8}{28} = 1,8$ mol N_2 ekleniyor.

$n_2 = 0,3 + 1,8 = 2,1$ mol $V_2 = ?$

Kapta T ve P sabit olduğundan

$\frac{n_1}{V_1} = \frac{n_2}{V_2}$ den $\frac{0,3}{7} = \frac{2,1}{V_2}$ $V_2 = 49$ L olur.

2.6. Alıştırma

Belirli bir sıcaklık ve basınçta 2 g O_2 gazı ile aynı hacmi dolduran YO_3 gazı 5 g olduğuna göre Y elementinin atom kütlesi kaçtır? (O:16)

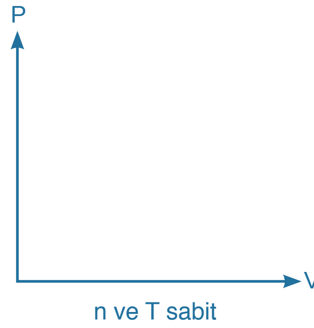
b) Hazır Veriler Kullanılarak Gaz Yasaları ile İlgili Elektronik Tablolama Üzerinden Grafik Oluşturma ve Yorumlama

Gazların basınç, hacim, mol sayısı ve sıcaklıkları arasında ilişki gaz yasaları ile açıklanır. Gaz yasalarındaki basınç-hacim, sıcaklık-hacim, sıcaklık-basınç ilişkileri elektronik tablolama programına veriler girilerek incelenebilir.

1. Belirli miktarda bir gazın sabit sıcaklıkta basınç ve hacim değişimi Tablo 2.2'deki gibidir. Buna göre tablodan yararlanarak "basınç-hacim" grafiğini elektronik tablolama programı kullanarak oluşturup yorumlayınız.

Tablo 2.2: *Basınç-Hacim İlişkisi*

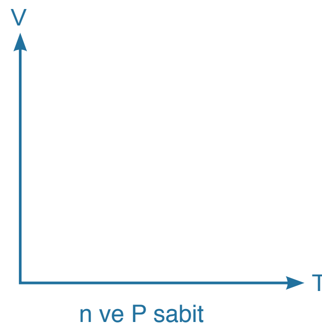
Hacim (L)	Basınç (atm)
0,5	8
1	4
2	2
4	1



2. Belirli miktarda bir gazın sabit basınçta sıcaklık ve hacim değişimi Tablo 2.3'teki gibidir. Buna göre tablodan yararlanarak "sıcaklık-hacim" grafiğini elektronik tablolama programı kullanarak oluşturup yorumlayınız.

Tablo 2.3: *Sıcaklık-Hacim İlişkisi*

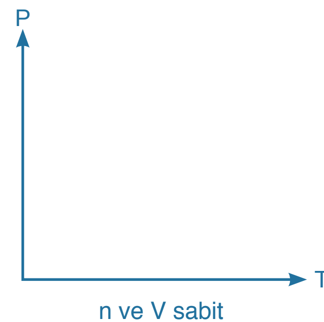
Sıcaklık (K)	Hacim (L)
160	4
200	5
240	6
280	7



3. Belirli miktarda bir gazın sabit hacimde, basınç ve sıcaklık değişimi Tablo 2.4'teki gibidir. Buna göre tablodan yararlanarak "basınç-sıcaklık" grafiğini elektronik tablolama programı kullanarak oluşturup yorumlayınız.

Tablo 2.4: *Sıcaklık-Basınç İlişkisi*

Sıcaklık (K)	Basınç (atm)
200	2
250	2,5
300	3
350	3,5



2. BÖLÜM

İDEAL GAZ YASASI

- *Gazlar hangi şartlarda ideal ve gerçek gaz davranışı gösterir?*
- *Gaz yasalarının matematiksel işlemlerinde bütün gazlar neden ideal kabul edilir?*
- *Gaz basıncı, hacmi, miktarı,sıcaklığı nasıl hesaplanır?*

2.2.1. Gaz Yasaları ile İdeal Gaz Yasası Arasındaki İlişki

İdeal gaz yasası; bir gazın basınç, sıcaklık, hacim ve madde miktarı özelliklerinin birbirine göre ilişkisini ifade eden bir hâl eşitliğidir. İdeal gaz yasası her ne kadar sınırlı bir yasa olsa bile normal basınçlarda kabul edilebilir bir güvenirliğe sahiptir. Bu yüzden ideal gaz yasası normal koşullarda birçok gazın davranışını açıklamada kullanılır. Deneysel yoldan türetilen Boyle, Charles, Gay Lussac ve Avogadro Yasaları birleştirilerek ideal gaz denklemi türetilmiştir.

a) İdeal Gaz Denkleminin Türetilmesi

Boyle Yasası:	$V \propto \frac{1}{P}$	(n ve T sabit)
Charles Yasası:	$V \propto T$	(n ve P sabit)
Gay Lussac Yasası:	$P \propto T$	(n ve V sabit)
Avogadro Yasası:	$V \propto n$	(P ve T sabit)

Gaz yasalarının matematiksel ifadeleri bir eşitlik altında birleştirilerek ideal gaz denklemi elde edilir.

Gazların davranışını tek bir eşitlikte incelemek için P, V, n ve T ifadeleri birleştirilir. Buna göre

$V \propto \frac{nT}{P}$ eşitlik bir orantı sabiti (R) ile çarpılırsa

$V = R\frac{nT}{P}$ eşitlik

$\mathbf{PV = nRT}$ şeklinde düzenlenir.

Burada R orantı sabitidir ve **ideal gaz sabiti** olarak bilinir.
PV = nRT eşitliği **ideal gaz denklemi** olarak adlandırılır ve dört değişken (P, V, T ve n) arasındaki ilişkiyi verir. İdeal gazda, basınç-hacim-sıcaklık davranışı ideal gaz denklemi ile açıklanabilir. İdeal gaz moleküllerinin birbirini çekmediği veya itmediği kabul edilir. Gaz taneciklerinin kendi hacimleri, kabın hacmi ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilir. Doğada tamamen ideal gaz özellikleri gösteren herhangi bir gaz olmamasına rağmen gerçek gazlar, yüksek sıcaklık ve düşük basınçta ideal gaza yakın davranır.

Bu nedenle, ideal gaz denklemi birçok gaz probleminin çözümünde kullanılabilir. Gerçek gazlara ideal gaz denklemini uygulamadan önce gaz sabiti R incelenmelidir. 0 °C (273,15 K) ve 1 atm basınçta, gerçek gazların çoğu ideal gaz gibi davranır. Bu deneysel şartlar altında, 1 mol ideal gaz 22,414 L hacim kapladığına göre, R'nin sayısal değeri,

$$R = \frac{PV}{nT} = \frac{1\text{atm}.22{,}414\ \text{L}}{1\text{mol}.273{,}15\ \text{K}} = 0{,}082057\ \frac{\text{atm.L}}{\text{mol.K}}$$ olarak hesaplanır.

R değeri, hesaplamaları kolaylaştırmak için 0,082 atm.L/mol.K veya 22,4/273 olarak alınır. Basıncın ve hacmin birimine bağlı olarak ideal gaz sabitinin değeri ve birimi değişir. Sıcaklık birimi olarak Kelvin (K) kullanılır.

b) İdeal Gaz Denklemi Kullanılarak Yapılan Hesaplamalar

Örnek

Bir bisiklet lastiğine 0,24 mol hava doldurulduğu zaman lastikteki basınç 3,91 atm olmaktadır. Lastiğin hacmi 1,5 L olduğuna göre havanın sıcaklığı kaç °C'dir?

Çözüm

İdeal gaz denklemi, PV = nRT eşitliğinden yararlanıldığında T

$$T = \frac{PV}{nR} = \frac{3{,}91\ \text{atm}.1{,}5\ \text{L}}{0{,}24\ \text{mol}.0{,}082\ \text{atm.L.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}} = 298\ \text{K} \qquad T = 273 + t \Rightarrow t = 298 - 273 = 25\ ^{\circ}\text{C olur.}$$

Örnek

22,4 L hacimli kapalı kaptaki 4,8 g CH_4 gazının basıncı 0,3 atm'dir. Kaba 4,8 g daha CH_4 gazı ilave edilip sıcaklık 273 °C arttırılıyor.
Buna göre kaptaki son basınç kaç atm olur? (H:1, C:12)

Çözüm

$$n = \frac{m}{M_A} = \frac{4{,}8}{16} = 0{,}3\ \text{mol}\ CH_4$$

PV = nRT eşitliğinden yararlanarak başlangıç sıcaklığı bulunur: $0{,}3.22{,}4 = 0{,}3 \cdot \frac{22{,}4}{273}.T \Rightarrow T = 273$ K olur.

Kaba 4,8 g CH_4 gazı eklenirse toplam mol sayısı n = 0,3 + 0,3 = 0,6 mol

Başlangıç sıcaklık 0 °C = 273 K, son sıcaklık 0 °C + 273 °C = 273 °C = 546 K

PV = nRT $\qquad P.22{,}4 = 0{,}6 \cdot \frac{22{,}4}{273}.546 \qquad$ P = 1,2 atm olur.

Örnek

0 °C sıcaklıkta ve 380 mmHg basınçta 16 g O_2 gazının kapladığı hacim kaç litredir? (O:16)

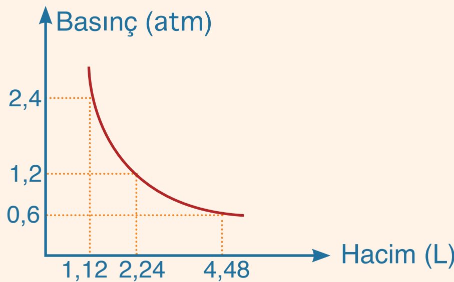
Çözüm

P = 380 mmHg $\qquad \dfrac{1 \text{ atm}}{760 \text{ mmHg}} = \dfrac{x \text{ atm}}{380 \text{ mmHg}} \qquad x = 0{,}5 \text{ atm}$

$n = \dfrac{m}{M_A} = \dfrac{16}{32} = 0{,}5 \text{ mol } O_2$ $\qquad$ T= 0 + 273 = 273 K

PV = nRT $\qquad 0{,}5.V = 0{,}5.\dfrac{22{,}4}{273}.273 \qquad$ V = 22,4 L olur.

2.7. Alıştırma



Yandaki grafikte SO_2 gazının basınç-hacim değişimi verilmiştir. 0 °C sıcaklıkta SO_2 gazı kaç gramdır. (O:16, S:32)

2.8. Alıştırma

Kükürt hekzaflorür (SF_6) renksiz, kokusuz ve çok aktif olmayan bir gaz olduğundan elektronik donanımlarda yalıtkan olarak kullanılır. 27 °C'de 6 L hacimli çelik bir kapta bulunan bu gazın 0,4 molünün kaba uyguladığı basınç kaç atmosferdir?

Tablo 2.5: *Gazlarda P, V, n, T Değerleri*

İlk Durum	Son Durum
P_1	P_2
V_1	V_2
T_1	T_2
n_1	n_2
İlk durum için $R = \dfrac{P_1V_1}{n_1T_1}$	Son durum için $R = \dfrac{P_2V_2}{n_2T_2}$

İdeal gaz denklemi, bir gaz örneğinin P, V, T ve n değerlerinden birini hesaplamada kullanılır. P, V, T ve n değerlerinden en az biri değiştiği zaman ideal gaz denklemi için ilk ve son koşullar dikkate alınır. Bunun için ideal gaz denklemi iki durum için yazılarak oranlanır. Hesaplamalarda gazın ilk ve son durumundaki basınç, hacim, sıcaklık ve mol sayısı arasındaki ilişki Tablo 2.5'teki verilere göre

$$\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2}$$

şeklinde belirtilir.

Elde edilen ve bu eşitliğe **genel gaz denklemi** denir.

$n_1 = n_2$ ise (kaptaki gaz miktarının değişmediği durumlarda) gazın ilk ve son durumdaki basınç, hacim, sıcaklık arasındaki ilişki

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

şeklinde belirtilir.

Örnek

Küçük bir kabarcık, gölün dibinden su yüzeyine çıkmaktadır. Gölün dibinde sıcaklık 10 °C, basınç 6,8 atm'dir. Su yüzeyine yakın bir noktada ise sıcaklık 27 °C, basınç 1,8 atm'dir. Kabarcığın ilk hacmi 2,5 mL ise son hacmi kaç mL'dir?

Çözüm

İlk Durum	Son Durum
P_1 = 6,8 atm	P_2 = 1,8 atm
V_1 = 2,5 mL	V_2 =?
T_1 = 10 + 273 = 283 K	T_2 = 27 + 273 = 300 K

Gazın mol sayısı değişmediğinden aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$ Eşitlikte değerler yerine yazılırsa

$\frac{6{,}8.2{,}5}{283} = \frac{1{,}8.V_2}{300} \Rightarrow V_2 = 10$ mL olur.

Örnek

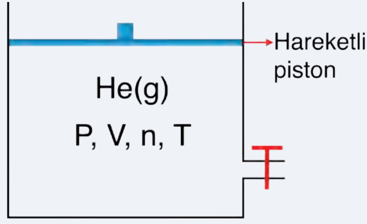
0,3 mol CH_4 gazı 1520 mmHg ve 27 °C'de 800 mL hacim kaplamaktadır. 127 °C ve 3,6 atm basınçta kaç mol H_2 gazı, 1,6 L hacim kaplar?

Çözüm

1520 mmHg = 2 atm 800 mL = 0,8 L 27 °C = 300 K 127 °C = 400 K

$$\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2} \Rightarrow \frac{2.0{,}8}{0{,}3.300} = \frac{3{,}6.1{,}6}{n_2.400} \Rightarrow n_2 = 0{,}8 \text{ mol } H_2$$

Örnek



Yanda verilen kaptaki gazın basıncını iki katına çıkarmak için hacim, sıcaklık, mol sayısı tek başına nasıl değiştirilmelidir?

Çözüm

Hacim: Genel gaz denklemine göre n ve T sabit tutularak basıncın iki katına çıkması için

$\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2}$ formülünden $\frac{PV}{nT} = \frac{2PV_2}{nT}$ $\Rightarrow$ $V_2 = V/2$ olmalıdır.

Sıcaklık: Genel gaz denklemine göre n ve V sabit tutularak basıncın iki katına çıkması için

$\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2}$ formülünden $\frac{PV}{nT} = \frac{2PV}{nT_2}$ $\Rightarrow$ $T_2 = 2T$ olmalıdır.

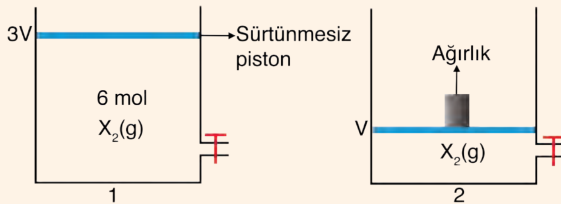
Mol sayısı: Genel gaz denklemine göre V ve T sabit tutularak basıncın iki katına çıkması için

$\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2}$ formülünden $\frac{PV}{nT} = \frac{2PV}{n_2T}$ $\Rightarrow$ $n_2 = 2n$ olmalıdır.

2.9. Alıştırma

Başlangıçta 347 °C ve 1,2 atm basınç yapan belli bir miktar N_2 gazının hacmi 4,0 L'dir. N_2 gazı 37 °C'ye soğutulduğunda son hacmi 0,5 L olmaktadır. Buna göre N_2 gazının son basıncı kaç atm'dir?

2.10. Alıştırma



Şekildeki 1. kap deniz seviyesindedir. Aynı sıcaklıkta musluk açılarak piston üzerine ağırlık konulduğunda kaptan bir miktar X_2(g) uzaklaştırıldığında kap hacmi 2. kaptaki gibi oluyor. Son basınç 2 atm olduğuna göre kaç gram X_2(g) uzaklaştırılmıştır? (X:16)

c) Normal Şartlarda Gaz Hacimleri Kütle ve Mol Sayısı İlişkisi

Avogadro Yasası'na göre aynı koşullardaki gazların eşit mollerinin, eşit hacim kapladığından söz edilmişti. İdeal gaz denklemine bakıldığında gazların hacmi; basınç, sıcaklık ve mol sayısına bağlı olarak değişir. Mol sayısı belirlenirken basınç ve sıcaklık değerlerinin bilinmesi gerekir.

Sıcaklığın 0 °C, basıncın 1 atm olduğu koşullara normal koşullar denir. Normal koşullarda (NK veya NŞ) bulunan bütün gazların birer molleri 22,4 L hacim kaplar. Normal koşullarda bulunan bir gazın mol sayısı, ideal gaz denkleminden faydalanılarak hesaplanabilir.

Örnek

127 °C'de 0,8 atm basınç yapan SO_2 gazının hacmi 4,1 L'dir. Buna göre SO_2 gazının normal koşullarda hacmi kaç litredir?

ÇÖZÜM

İdeal gaz denkleminden yararlanarak gazın mol sayısı bulunur.

T = 127 + 273 = 400 K

PV = nRT

0,8.4,1 = n.0,082.400

n = 0,1 mol

Normal koşullarda (NK) 1 mol gaz 22,4 L

0,1 mol ?

? = 2,24 L

Örnek

27 °C'de 304 mmHg basınç yapan NO_2 gazının hacmi 12,3 L'dir. Buna göre NO_2 gazı kaç gramdır? (N:14, O:16)

Çözüm

T = 27+ 273 = 300 K

1 atm 760 mmHg

? 304 mmHg

? = 0,4 atm

Bulunan sıcaklık ve basınç değerleri ideal gaz denkleminde yerine konularak gazın mol sayısı hesaplanır.

PV = nRT 0,4.12,3 = n.0,082.300 ⇒ n = 0,2 mol

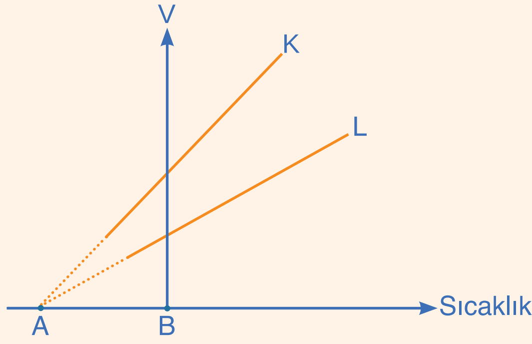
NO_2 gazının molekül kütlesi (M_A) = 14 + 2.16= 46 g/mol

1 mol NO_2 gazı 46 g ise

0,2 mol NO_2 gazı ?

? = 9,2 g

2.11. Alıştırma



Şekildeki grafik sabit basınçta eşit kütleli K ve L ideal gazları için hacim-sıcaklık değişimine aittir. Buna göre

a) A ve B noktasında sıcaklık kaçtır?

b) K ve L gazlarının mol sayılarını karşılaştırınız.

c) K ve L gazlarının mol kütlelerini karşılaştırınız.

Gaz Yasalarını Kullanarak Mol Kütlesi Hesaplama

İdeal gaz denkleminde mol sayısı (n) yerine m/M_A yazıldığında gazların mol kütleleri hesaplanabilir.

$$PV = nRT \qquad PV = \frac{m}{M_A}RT \qquad PM_A = \frac{m}{V}RT$$

$d = \frac{m}{V}$ olduğundan eşitlikte $\frac{m}{V}$ yerine d (özkütle) yazılırsa

$PM_A = dRT$ veya $M_A = \frac{dRT}{P}$ formülü elde edilir.

ÖRNEK

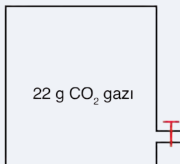
273 °C'de 2,24 L hacim kaplayan 1,6 gram A gazının yaptığı basınç 38 cmHg'dır. Buna göre A gazının mol kütlesi kaçtır?

ÇÖZÜM

T = 273 + 273 = 546 K　　　38 cmHg = 0,5 atm

$$\frac{P}{RT} = \frac{m}{M_A V} \Rightarrow \frac{0,5}{\frac{22,4}{273}.546} = \frac{1,6}{M_A.2,24} \Rightarrow M_A = 64 \text{ g/mol}$$

ÖRNEK



Şekildeki sabit hacimli kapta 22 gram CO_2 gazı T sıcaklıkta 1 atm basınç yapmaktadır. Kaba 7 g X gazı eklenip mutlak sıcaklık 2 katına çıkarıldığında basınç 3 atm olmaktadır. Buna göre eklenen X gazının mol kütlesi kaç g/mol'dür? (C:12, O:16)

ÇÖZÜM

Hacim (V) sabit olduğunda $\frac{P_1}{n_1T_1} = \frac{P_2}{n_2T_2}$ eşitliği kullanılır.

CO_2 gazının mol sayısı $n = \frac{m}{M_A} = \frac{22}{44} = 0,5$ mol

$\frac{P_1}{n_1T_1} = \frac{P_2}{n_2T_2} \Rightarrow \frac{1}{0,5.T} = \frac{3}{(0,5 + n_2).2T}$ $n_2 = 0,25$ mol $\Rightarrow$ Kaba 0,25 mol X gazı eklenmiştir.

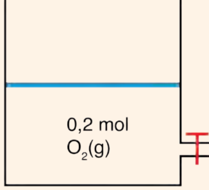
0,25 mol X gazı 7 g ise
1mol X gazı ?

? = 28 g X gazının mol kütlesi 28 g/mol'dür.

2.12. Alıştırma

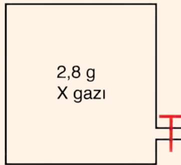
Sabit hacimli kapta 2 atm basınç altında 0 °C sıcaklıkta özkütlesi 5 g/L olan A_2 gazı bulunmaktadır. Buna göre A'nın mol kütlesi kaçtır?

2.13. Alıştırma



Şekildeki ideal pistonlu kapta 27 °C'de 0,2 mol O_2(g) gazı varken hacim 300 mL'dir. Sıcaklık 327 °C'ye çıkarılıp 4,4 gram X gazı ilave edildiğinde kaptaki son hacim 900 mL oluyor. Buna göre X gazının mol kütlesi kaçtır?

2.14. Alıştırma

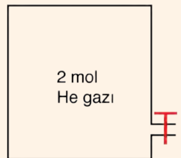


Şekildeki kapta 2,8 gram X gazı 273 °C sıcaklık ve 2 atm basınç koşullarında 2,24 L hacim kaplamaktadır.

a) X gazının mol kütlesi kaç g/mol'dür?

b) 56 g X gazı normal koşullarda kaç L hacim kaplar?

2.15. Alıştırma



Şekildeki V hacimli kapta 2 mol He gazı T sıcaklıkta P basıncı yapıyor. Kaba aynı sıcaklıkta bir miktar X gazı eklendiğinde özkütle üç katına çıkarken basınç 1,5 P oluyor. Buna göre X gazının mol kütlesi kaçtır? (He:4)

3. BÖLÜM

GAZLARDA KİNETİK TEORİ

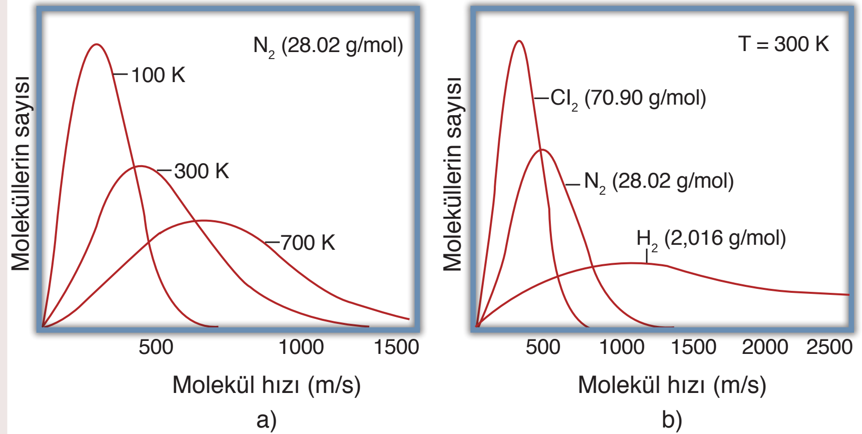
- *Kinetik teori nedir?*
- *Kinetik teoriye göre gaz davranışlarında kabul edilen kurallar nedir?*
- *Gazların difüzyonu günlük yaşamda nasıl örneklendirilebilir?*

Görsel 2.19: *James Clerk Maxwell (Temsilî)*

2.3.1. Gaz Davranışlarının Kinetik Teoriyle Açıklanması

Gazların kinetik kuramı, tüm gazların davranışlarında gözlenen düzenliliği açıklamak için geliştirilmiş bir modeldir. 1738'de Daniel Bernoulli (Danyıl Bernulli) bir gazın basıncının gaz moleküllerinin kabın çeperlerine çarpması sonucunda oluştuğunu kabul etmiştir. Kinetik Kuram, 19. yüzyılın ortalarında birçok bilim insanı, özellikle James Clerk Maxwell (Ceymis Kılork Meksvıl) (Görsel 2.19) ve Ludwig Boltzmann (Ludvik Boldzmen) tarafından geliştirilmiştir.

Gazların kinetik kuramı, molekül hareketinin daha ayrıntılı incelenmesini sağlar. Sıcaklık sabit tutulduğu sürece ortalama kinetik enerji ve hız kareleri ortalaması zamanla değişmez. Gaz moleküllerinin hareketleri tamamen gelişigüzeldir. Maxwell, farklı sıcaklıklarda gaz moleküllerinin davranışını analiz etmiştir.



Grafik 2.9: *a) N_2 gazının farklı sıcaklıklardaki hız dağılımı*
b) Aynı sıcaklıkta Cl_2, N_2, H_2 gazlarının hız dağılımı

Grafik 2.9 a) üç farklı sıcaklıkta azot gazının hızlarını içeren dağılımda görüldüğü gibi yüksek sıcaklıklarda fazla sayıda molekül daha hızlı hareket eder. Dağılım eğrisi, verilen bir sıcaklıkta belirli bir hızda hareket eden moleküllerin sayısı hakkında bilgi verir. Her eğrinin tepe noktası en olasılıklı hızı, yani en fazla sayıdaki moleküllerin hızını ifade eder. Sıcaklık arttıkça eğrilerin tepe noktası sağa kayar, en olasılıklı hız artar. Ayrıca sıcaklık arttıkça eğri düzleşmeye başlamasıyla daha fazla sayıda molekülün daha hızlı hareket ettiğini belirtir.

Grafik 2.9 b) aynı sıcaklıkta üç farklı gazın hız dağılımlarını gösterir. Eğrilerdeki farklılık, mol kütlesi küçük olan gaz moleküllerinin mol kütlesi büyük olanlara göre ortalama olarak daha hızlı hareket etmeleriyle açıklanabilir. Mol kütlesi en düşük olan hidrojen gazının ortalama hızının en fazla olduğu görülür.

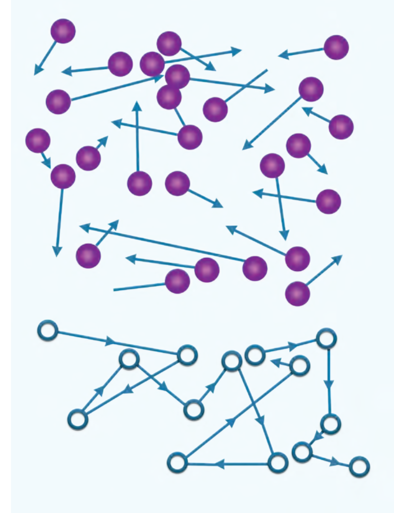
a) Kinetik Teori, Graham Difüzyon ve Efüzyon Yasası

Kinetik Teori

- Gazlar bulundukları kapta birbirlerine oldukça uzakta bulunan, her yöne doğru hızlı, sürekli, doğrusal ve zikzaklı hareket eden taneciklerden oluşmuştur. Gaz moleküllerinin bu hareketine Brown hareketi denir (Görsel 2.20).
- Gaz taneciklerinin hacmi bulundukları kabın hacmi yanında önemsenmeyecek kadar küçük olduğundan ihmal edilebilir. Bu nedenle kap hacmi gaz hacmi olarak alınır.
- Gaz tanecikleri rastgele hareketleri sırasında birbirleriyle çarpışır. Bu çarpışmalar dışında birbirleri ile etkileşmedikleri, yani aralarında itme ve çekme kuvvetlerinin olmadığı kabul edilir. Kendi aralarında esnek çarpışmalar yaparak sadece bir tanecikten diğerine enerji aktarılır ve toplam enerjide bir değişme olmaz.
- Gaz tanecikleri rastgele hareketleri sırasında bulundukları kabın iç yüzeylerine çarpmaları sonucu kaba bir basınç uygular. Bu çarpmalar esnek çarpışma olup sadece taneciklerin yeri ve hızını değiştirir.
- Bütün gazların belirli bir sıcaklıkta ortalama kinetik enerjileri sabit olup birbirine eşittir. Gazın ortalama kinetik enerjisi, cinsine bağlı olmayıp sadece sıcaklıkla değişir.

$$E_k \ \alpha \ T$$

- Gaz taneciklerinin ortalama kinetik enerjileri (E_k) mutlak sıcaklıkla (T) doğru orantılıdır.



Görsel 2.20: *Gaz taneciklerinin hareketleri (Brown hareketi)*

Bu varsayımlara göre aralarında itme ve çekme kuvvetleri olmayan, molekül hacimlerinin sıfır olduğu, birbirleriyle ve kabın yüzeyleriyle esnek çarpışmalar yapan molekül topluluklarına **ideal gaz** denir. Bu varsayımlara tam olarak uyan bir gaz yoktur. Ancak gerçek gazlar düşük basınç ve yüksek sıcaklıkta ideale yaklaşır.

Herhangi bir T sıcaklığında bir molekül ortalama olarak nasıl bir hızla hareket eder? Gazların kinetik kuramından elde edilen sonuca göre bir gazın bir molünün toplam kinetik enerjisi

$E_k = \frac{3}{2}$ RT'dir.

Tek bir molekülün ortalama kinetik enerjisi

$E_k = \frac{1}{2} mv^2$ eşitliğinden hesaplanır.

Bu durumda 1 mol molekülün (N_A tane) ortalama kinetik enerjisi $N_A(\frac{1}{2} mv^2)$ ye eşit olur.

Bilgi Kutusu

Aynı sıcaklıkta bütün gaz moleküllerinin ortalama kinetik enerjileri eşittir.

Buna göre

$$N_A\left(\frac{1}{2}mv^2\right) = \frac{3}{2}RT$$

şeklinde olur. N_A Avogadro sayısıdır. $N_A\ m = M_A$ olduğuna göre eşitlik

$$v^2 = \frac{3RT}{M_A}$$

şeklinde olur.

Her iki tarafın karekökü alınarak

$$v = \sqrt{\frac{3RT}{M_A}}$$

bağıntısı elde edilir.

Hız; mutlak sıcaklığın karekökü ile doğru, mol kütlesinin karekökü ile ters orantılıdır. M_A paydada yer aldığı için, kütlesi büyük olan gazların molekülleri daha yavaş hareket eder. R için 8,314 J/K.mol değeri yerine konur ve mol kütlesi de (M_A) kg/mol'e çevrilirse ortalama hız (v) m/s olarak hesaplanır.

Jüpiter'den farklı olarak Dünya atmosferi büyük oranda hidrojen veya helyum bulundurmaz. Bunun nedeni ne olabilir?

Görsel 2.21: *Jüpiter*

Jüpiter'den (Görsel 2.21) daha küçük bir gezegen olan Dünya, hafif moleküller üzerinde yeterince yerçekimi kuvvetine sahip değildir. Kabaca bir hesaplama, Dünya'nın yerçekiminden kurtulmak için bir molekülün $1{,}1x10^4$ m/s'ye eşit veya daha fazla bir kaçış hızına sahip olması gerektiğini gösterir. Helyumun ortalama hızı azot ve oksijen moleküllerinden oldukça fazla olduğu için Dünya'nın atmosferinden dış uzaya kaçan He sayısı daha fazladır. Sonuçta helyumun sadece çok az bir miktarı atmosferde kalır. Dünya'nın kütlesinden 320 kat daha fazla bir kütleye sahip olan Jüpiter'de, helyum gazı daha çoktur. Bundan dolayı Jüpiter'in atmosferi molekül kütlesi büyük ve küçük gazları tutabilmektedir.

Gazlarda Difüzyon ve Efüzyon

Difüzyon

Gaz moleküllerinin başka gaz molekülleri ile kinetik özelliklerinden dolayı yavaş yavaş karışmasına **difüzyon (yayılma)** denir. Difüzyon, gaz moleküllerinin gelişigüzel hareketlerini tam olarak açıklar.

Gerçekte moleküllerin hızları çok büyük olmasına rağmen difüzyon işleminin tamamlanması oldukça uzun zaman alır. Örneğin bir şişe derişik amonyak çözeltisi laboratuvar tezgâhının bir ucunda açıldığında tezgâhın diğer ucundaki kişinin kokuyu alması biraz zaman alır. Bunun nedeni amonyak molekülünün tezgâhın bir ucundan diğer ucuna hareket etmesidir.

Gazların difüzyonu her zaman yavaş meydana gelir. Aynı koşullarda mol kütlesi hafif olan bir gaz mol kütlesi ağır olan bir gazdan daha hızlı yayılır.

1832 yılında İskoç kimyacı Thomas Graham (Tamıs Gırehem) (Görsel 2.22), aynı sıcaklık ve basınç koşullarında gazların difüzyon hızlarının, mol kütlelerinin karekökleriyle ters orantılı olduğunu bulmuştur. Bu ifade, **Graham'ın Difüzyon Yasası** olarak bilinir Kinetik Teori'ye göre sıcaklıkları eşit olan iki farklı gazın ortalama kinetik enerjileri de eşittir ve matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir:

Görsel 2.22: *Thomas Graham (Temsilî)*

$$E_{k_1} = E_{k_2} \qquad (T_1 = T_2)$$

m: kütle v: hız

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_2 v_2^2$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}$$

Bu eşitlik Graham Difüzyon Yasası'nın matematiksel ifadesidir. Bir maddenin molekül kütlesi mol kütlesi ile orantılı olduğundan kütlesi yerine mol kütlesi alınabilir.

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{M_{A_2}}{M_{A_1}}}$$

Formülde v gazların difüzyon hızını, M_A ise mol kütlelerini gösterir.
Aynı koşullardaki gazların özkütleleri (d) mol kütleleriyle doğru orantılı olduğundan gazların difüzyon hızları için

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{M_{A_2}}{M_{A_1}}} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}}$$ eşitliği de yazılabilir.

Aynı mol kütlesine sahip farklı gaz taneciklerinin yayılma hızları sadece mutlak sıcaklıklarına (T) bağlı olarak değişir.

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

Mol kütleleri ve sıcaklıkları farklı olan gazlar için

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{M_{A_2} T_1}{M_{A_1} T_2}}$$ eşitliği yazılabilir.

Gazların aynı koşullarda yayılma hızları, yayılma süreleri (t) ile ters orantılıdır. Buna göre

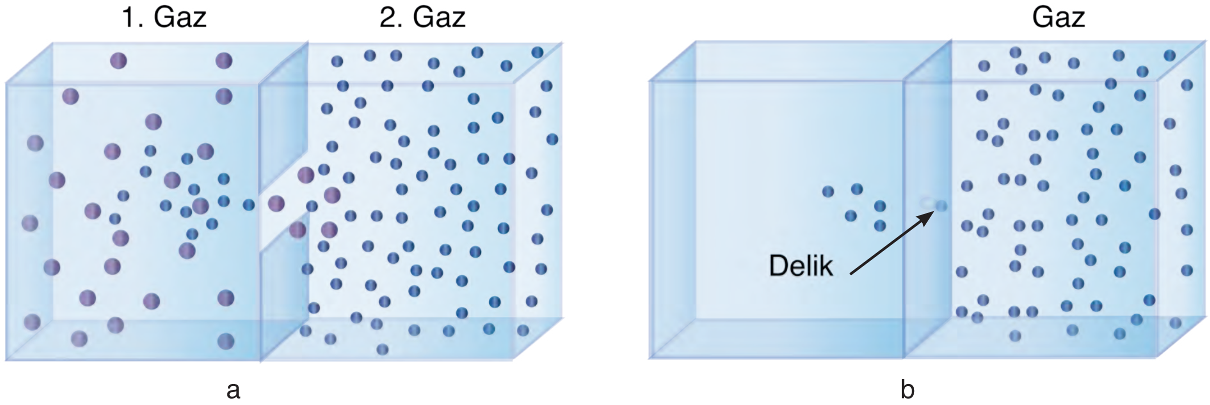
$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{t_2}{t_1}$$ eşitliği yazılabilir.

> **Bilgi Kutusu**
>
> *Gazların ortalama hızları gazın mol kütlesi ve bulunduğu ortamın sıcaklığına bağlıdır.*

Efüzyon

Difüzyon, bir gazın diğer bir gaz ile yavaş yavaş karıştığı bir işlem iken **efüzyon (dışa yayılma)** basınç altındaki bir gazın kabın bir bölmesinden diğer bölmesine küçük bir delikten geçerek yayıldığı işlemdir (Görsel 2.23 a ve b).

Efüzyonun doğası difüzyondan farklı olduğu hâlde bir gazın efüzyon hızı Graham'ın Difüzyon Yasası ile aynı eşitlikte verilir. Helyum ile doldurulmuş bir balon, hava ile doldurulmuş balondan daha hızlı bir şekilde söner; çünkü daha hafif olan helyum atomlarının balonun gözeneklerinden efüzyon hızı, hava moleküllerinkinden daha hızlıdır.



Görsel 2.23: a) Gaz difüzyonu b) Gaz efüzyonu

ÖRNEK

I. SO_2
II. N_2
III. CH_4
IV. CO_2
V. H_2

Yukarıda verilen gaz moleküllerinin aynı sıcaklıkta ortalama hızlarını karşılaştırınız.
(H:1, C:12, N:14, O:16, S:32)

ÇÖZÜM

SO_2, N_2, CH_4, CO_2, H_2 molekülerinin mol kütleleri

SO_2: 64 g/mol N_2: 28 g/mol CH_4: 16 g/mol CO_2: 44 g/mol H_2: 2 g/mol şeklindedir.

Aynı sıcaklıktaki gazların ortalama yayılma hızları mol kütlelerinin karekökü ile ters orantılıdır. Aynı sıcaklıkta mol kütlesi küçük olan gaz hızlı yayılır. Buna göre yayılma hızları

$H_2 > CH_4 > N_2 > CO_2 > SO_2$ şeklinde yazılır.

ÖRNEK

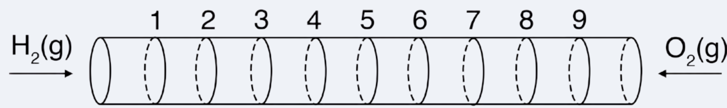
Aynı koşullarda He gazının yayılma hızı X gazının yayılma hızının 4 katıdır. Buna göre X gazının molekül kütlesi kaçtır?

(He:4)

ÇÖZÜM

$$\frac{v_{He}}{v_X} = \sqrt{\frac{M_X}{M_{He}}} \qquad 4 = \sqrt{\frac{M_X}{4}} \qquad 16.4 = M_X \qquad M_X = 64 \text{ g/mol}$$

ÖRNEK



Şekildeki eşit bölmeli boruya aynı koşullarda ve aynı anda H_2 ve O_2 gazları gönderilirse gazlar ilk olarak hangi bölmede karşılaşır?

(H:1, O:16)

ÇÖZÜM

$$\frac{v_{H_2}}{v_{O_2}} = \sqrt{\frac{M_{O_2}}{M_{H_2}}} \qquad \frac{v_{H_2}}{v_{O_2}} = \sqrt{\frac{32}{2}} = 4 \quad \Rightarrow \quad v_{H_2} = 4v_{O_2}$$

H_2(g) gazının yayılma hızı, O_2(g) gazının yayılma hızının 4 katı olduğuna göre ilk olarak 8. bölmede karşılaşır.

ÖRNEK

O_2 gazının 327 °C'deki yayılma hızı t °C'deki SO_2 gazının yayılma hızının iki katı olduğuna göre SO_2 gazının bulunduğu ortamın sıcaklığı t kaç °C'dir? (O_2: 32, SO_2: 64)

ÇÖZÜM

$$\frac{v_{O_2}}{v_{SO_2}} = \sqrt{\frac{M_{SO_2}.T_{O_2}}{M_{O_2}.T_{SO_2}}} \qquad T_{O_2} = 327 + 273 \Rightarrow T_{O_2} = 600 \text{ K}$$

$$\frac{2}{1} = \sqrt{\frac{64.600}{32.T_{SO_2}}} \qquad \frac{4}{1} = \frac{2.600}{T_{SO_2}} \qquad T_{SO_2} = 300 \text{ K}$$

$T_{SO_2} = 300 - 273 = 27$ °C olur.

2.16. Alıştırma

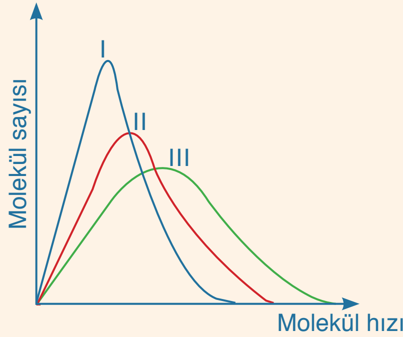
Bir miktar O_2 gazı bulunduğu kaptaki küçük bir delikten 2 saniyede, aynı koşullarda bulunan X gazı ise aynı delikten 3 saniyede geçmektedir.Buna göre, X gazının mol kütlesi kaçtır? (O:16)

2.17. Alıştırma

T sıcaklığındaki CH_4 gazının hızı 4T sıcaklığındaki X gazının hızına

oranı $\frac{v_{CH_4}}{v_X} = \frac{1}{4}$ 'tür. Buna göre X gazının molekül kütlesi kaçtır? (CH_4:16)

2.18. Alıştırma



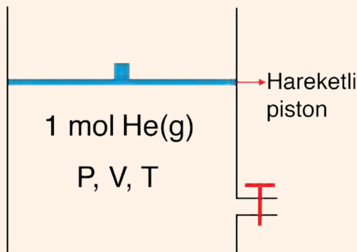
a) Şekildeki grafik aynı gazın farklı sıcaklıklarda molekül sayısı ile molekül hızını gösterdiğinde I, II ve III eğrileri için sıcaklıkları karşılaştırınız.

b) Şekildeki grafik CH_4, He ve SO_2 gazları için aynı sıcaklıkta molekül sayısı ile molekül hızını gösterdiğinde I, II ve III eğrilerinin CH_4, He ve SO_2 gazlarından hangisine ait olduğunu belirtiniz. (He:4, CH_4:16, SO_2:64)

2.19. Alıştırma

T sıcaklığında He gazı ile SO_2 gazının hızlarının eşit olması için SO_2 gazının sıcaklığı kaç T olmalıdır? (He:4, SO_2:64)

2.20. Alıştırma



Şekildeki kaba sabit sıcaklıkta 16 g CH_4 gazı ilave edildiğinde

a) Birim yüzeye gaz taneciklerinin çarpma sayısı nasıl değişir?

b) Basınç kaç P olur?

c) CH_4 ve He gazlarının yayılma hızlarının oranını bulunuz.
(He:4, CH_4:16)

2.1 ETKİNLİK

Etkinliğin Adı: **Gazların Difüzyon Hızları ile Mol Kütleleri Arasındaki İlişki**

Etkinliğin Amacı: Aynı sıcaklıkta NH_3 ve HCl gazlarının difüzyon hızlarının karşılaştırılması

Etkinliğin Süresi: 40 dakika

Araç ve Gereçler

- İki ucu açık 50 cm cam boru
- Kauçuk tıpa
- Toplu iğne
- Pamuk
- Destek çubukları ve bağlantı parçaları
- HCl ve NH_3 sulu çözeltileri
- Damlalık

Uygulama Aşamaları

1. Destek çubuklar yardımıyla 50 cm'lik cam boruyu yere paralel bir şekilde sabitleyiniz.
2. Her iki kauçuk tıpanın iç kısımlarına toplu iğnelerle bir miktar pamuk tutturunuz.
3. Kauçuk tıpalardaki pamuklara ayrı ayrı NH_3 ve HCl çözeltilerinden altışar damla damlatarak aynı anda cam borunun açık uçlarına takınız.

4. NH_3 ve HCl çözeltileri ile emdirilmiş pamukları şekildeki gibi tüpe takınız.
5. Tüpü gözlemleyerek NH_3 ve HCl gazlarından oluşan beyaz halkanın oluştuğu yeri işaretleyerek halkanın tüpün uçlarına olan uzaklığını ölçünüz.
6. $NH_3(g) + HCl(g) \rightarrow NH_4Cl(k)$ tepkimesi sonucu tüpte beyaz NH_4Cl katısını gözlemleyiniz.

Etkinliğin Değerlendirilmesi

NH_3 ve HCl'nin mol kütleleri; NH_3:17 g/mol, HCl:36,5 g/mol olduğuna göre cam boruda NH_3 ve HCl'ün karşılaştıkları uzaklığı hesaplayınız. Teorik olarak hesaplanan sonuçlarla etkinlikte bulduğunuz sonuçları karşılaştırınız. Teorik ve deneysel sonuçta sapma varsa nedenlerini tartışınız.

Etkinliğin uygulama aşamalarında asit, baz ve cam kaplar kullanıldığı için güvenlik uyarılarına mutlaka uyunuz.

Bilişim teknolojilerinden yararlanarak (animasyon, simülasyon, video vb.) difüzyon ve efüzyon kavramları açıklanır. İlgili görsellere Millî Eğitim Bakanlığı Eğitim Bilişim Ağı **www.eba.gov.tr** adresinden ulaşılabilir.

4. BÖLÜM

GAZ KARIŞIMLARI

- *Günlük hayatta kullanılan önemli gaz karışımları nelerdir?*
- *Bir gaz karışımında bulunan herhangi bir gazın kısmi basıncı nelere bağlıdır?*
- *Ayrı kaplarda bulunan gazlar karıştığında, gazların hangi özellikleri değişir?*

2.4.1. Gaz Karışımları ve Kısmi Basınç

Doğada gazlar çoğunlukla karışım hâlinde bulunur. Örneğin atmosfer; azot, oksijen, argon, karbon dioksit ve diğer birçok gazın karışımıdır. Birçok anestezi gazı, hastaların zarar görmemesi için dikkatli şekilde hazırlanan karışımlardan oluşur. Doğal gaz, hava gazı, LPG birer gaz karışımıdır.

Gaz karışımlarına örnek olarak atmosfer (kuru hava) ve doğal gazın hacimce yüzdeleri Tablo 2.6'da verilmiştir.

Tablo 2.6: *Atmosferi ve Doğal Gazı Oluşturan Gazların Hacimce Yüzdeleri*

Atmosfer		Doğal Gaz	
Gaz	Hacimce Yüzde	Gaz	Hacimce Yüzde
Azot (N_2)	78,08	Metan (CH_4)	90
Oksijen (O_2)	20,94	Etan (C_2H_6)	5
Argon (Ar)	0,93	Propan (C_3H_8)	3
Karbon dioksit (CO_2)	0,04	Bütan (C_4H_{10})	1
Diğer gazlar	0,01	Diğer hidrokarbonlar	1

a) Kısmi Basınç ve Gazların Su Üstünde Toplanması

Kısmi Basınç

Gazların kısmi basınçları nasıl bulunur? Gazların kısmi basınçları hangi faktörlere bağlıdır? Bir gaz karışımında bulunan gazların her birinin kaba ayrı ayrı uyguladığı basınca **kısmi basınç** denir. Manometre ile sadece gaz karışımının toplam basıncı ölçülebilir. Kısmi basınçları bulmak için bileşenlerin mol kesirlerinin bilinmesi gerekir. Kısmi basınçları ölçmenin en doğru yolu bir kütle spektrometresi kullanmaktır. Kütle spektrumunda karışımdaki gazların miktarları ve dolayısıyla mol kesirleri bulunabilir. Bunun sonucunda gazların kısmi basınçları hesaplanabilir.

Bir gazın kısmi basıncı o gazın aynı kapta tek başına yaptığı basınca eşittir. Sabit hacimli kapta aynı sıcaklıkta bulunan gazlar kapta ister tek başına ister başka gazlarla birlikte bulunsun, gazın yapacağı basınç değişmez. Bir gaz karışımındaki herhangi bir gazın kısmi basıncı doğrudan ölçülemez. Ölçülebilen basınç toplam basınçtır. Gaz karışımında bulunan gazlar, toplam basıncı mol sayıları ile doğru orantılı olarak paylaşır.

Dalton'un Kısmi Basınçlar Yasası'na göre bir gaz karışımının toplam basıncı, karışımın bileşenlerinin kısmi basınçlarının toplamına esittir.

Görsel 2.24: *Kısmi basınçlar yasasının şematik gösterimi*

Görsel 2.24'te sabit sıcaklıkta V hacimli bir kapta X ve Y gazları tarafından uygulanan basınçlar, ideal gaz denklemine göre

$P_X V = n_X RT$

$P_Y V = n_Y RT$

$P_T V = n_T RT$

P_X ve P_Y: X ve Y gazlarının kısmi basınçlarını,

$P_T = P_X + P_Y$: Toplam basıncı,

n_X ve n_Y: X ve Y gazlarının mol sayılarını,

$n_T = n_X + n_Y$: Toplam mol sayısını gösterir.

X gazı ve toplam basınç için yazılan ideal gaz denklemleri taraf tarafa oranlandığında

$$\frac{P_X \cancel{V}}{P_T \cancel{V}} = \frac{n_X R\cancel{T}}{n_T R\cancel{T}} \qquad \frac{P_X}{P_T} = \frac{n_X}{n_T}$$

eşitliği elde edilir.

Aynı sıcaklık ve hacimdeki gazların mol sayıları ile basınçları doğru orantılıdır. Yukarıdaki eşitlik düzenlendiğinde bir gazın kısmi basıncı

$$P_X = P_T \frac{n_X}{n_T}$$ bağıntısı ile hesaplanır.

Formüldeki $\frac{n_X}{n_T}$, X gazının mol kesridir.

Mol kesri (X) bir gaz karışımındaki herhangi bir gazın mol sayısının toplam mol sayısına oranıdır. Karışımdaki gazların mol kesirleri toplamı 1'dir.

Bir karışımda $X_A + X_B + ... = 1$ olur.

Karışımdaki A ve B gazının mol kesri

$$X_A = \frac{n_A}{n_T}, \quad X_B = \frac{n_B}{n_T}$$ bağıntıları ile bulunur.

ÖRNEK

Şekildeki kapta sabit sıcaklık ve hacimde toplam basınç 9 atm'dir.

3 mol H_2 gazı
2 mol CH_4 gazı
1 mol He gazı

a) Gazların kısmi basınçlarını bulunuz.
b) Gazların mol kesirlerini bulunuz.

ÇÖZÜM

a) $P_T = P_{H_2} + P_{CH_4} + P_{He} = 9$ atm

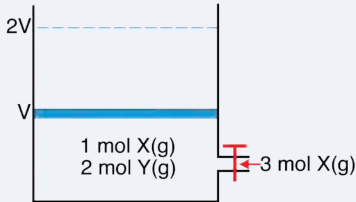
$n_T = n_{H_2} + n_{CH_4} + n_{He} = 3 + 2 + 1 + = 6$ mol

$$\frac{P_T}{n_T} = \frac{P_{H_2}}{n_{H_2}} = \frac{P_{CH_4}}{n_{CH_4}} = \frac{P_{He}}{n_{He}} \qquad \frac{9}{6} = \frac{P_{H_2}}{3} = \frac{P_{CH_4}}{2} = \frac{P_{He}}{1}$$

$P_{H_2} = \frac{9.3}{6} = 4{,}5$ atm $\qquad P_{CH_4} = \frac{9.2}{6} = 3$ atm $\qquad P_{He} = \frac{9.1}{6} = 1{,}5$ atm

b) $X_{H_2} = \frac{n_{H_2}}{n_T} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2} \qquad X_{CH_4} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3} \qquad X_{He} = \frac{1}{6}$

ÖRNEK



Sabit sıcaklıkta şekildeki pistonlu kapta V hacimde 1 mol X, 2 mol Y gazları varken toplam basınç 75 cmHg'dır. Musluktan 3 mol X gazı eklendiğinde hacim 2V oluyor.
Buna göre

a) Kaptaki toplam basınç kaç cmHg olur?
b) Başlangıçta X ve Y gazlarının kısmi basınçları kaç cmHg'dır?
c) 3 mol X gazı eklendikten sonra X veY gazlarının kısmi basınçları kaç cmHg olur?

ÇÖZÜM

a) Serbest pistonlu kap olduğu için toplam basınç değişmez. P_T=75 cmHg olur.

b) Başlangıçta $P_T = P_X + P_Y$=75 cmHg $\quad n_T = 1 + 2 = 3$ mol

$P_x = P_T \frac{n_x}{n_T} \qquad P_x = 75 . \frac{1}{3} = 25$ cmHg $\qquad P_Y = P_T \frac{n_Y}{n_T} \qquad P_Y = 75 . \frac{2}{3} = 50$ cmHg

c) 3 mol X gazı eklendikten sonra $n_T = 4$ mol X + 2 mol Y= 6 mol $\qquad P_T = P_X + P_Y = 75$ cmHg

$P_x = P_T \frac{n_x}{n_T} \qquad P_x = 75 . \frac{4}{6} = 50$ cmHg $\qquad P_Y = P_T \frac{n_Y}{n_T} \qquad P_Y = 75 . \frac{2}{6} = 25$ cmHg

2.21. Alıştırma

0 °C sıcaklıkta 11,2 litrelik bir kapta 2 mol N_2, 8 g CH_4 ve 16 g O_2 gazları karışımı bulunmaktadır. Her bir gazın kısmi basıncını atm cinsinden hesaplayınız. (H:1, C:12, N:14, O:16)

2.22. Alıştırma

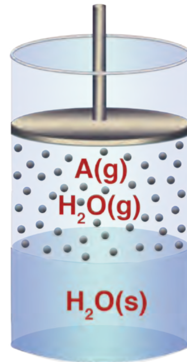
Sabit hacimli bir kapta 64 g O_2, 30 g C_2H_6 ve 6 g H_2 gazlarından oluşan karışımdaki C_2H_6 gazının kısmi basıncı 0,5 atm olduğuna göre
a) O_2 ve H_2 gazlarının kısmi basınçları kaç atm'dir?
b) Gaz karışımın toplam basıncı kaç atm'dir? (H:1, C:12, O:16)

Gazların Su Üstünde Toplanması

Su ile tepkimeye girmeyen ve suda çözünmeyen gazlar, su içerisinde kabarcıklar oluşturup su üzerinde toplanır. Görsel 2.25'te buharı ile dengede olan bir miktar saf suyun üzerinde suda çözünmeyen A gazı bulunmaktadır. Belirli bir sıcaklıkta sıvısıyla dengede olan buharın yaptığı basınca su buharının **denge buhar basıncı** denir.

Kaptaki toplam basınç (P_T), A gazının kısmi basıncı (P_A) ile su buharının kısmi basıncı (P_{H_2O}) toplamına eşittir.

$$P_T = P_A + P_{H_2O}$$



Görsel 2.25: *Su ile tepkime vermeyen pistonlu kaptaki A gazı*

Gazların su üstünde toplanması yöntemi bir gaz karışımındaki her bir gazı saf olarak elde etmede kullanılır. Su buharının basıncı suyun saflığına ve sıcaklığına bağlı olarak değişir. Suyun miktarına, bulunduğu kabın hacmine, kabın şekline ve üzerine uygulanan basınca bağlı olarak değişmez.

A gazının basıncı ise kabın hacmine, mol sayısına ve sıcaklığına bağlı olarak değişir. Görsel 2.25'te verilen kapta sabit sıcaklıkta piston yukarı çekilerek hacim iki katına çıkarılırsa

- Su buharının kısmi basıncı değişmez.
- A gazının kısmi basıncı yarıya düşer.
- Su ve buhar dengesinin tekrar kurulabilmesi için $H_2O(g)$ moleküllerinin sayısı artar, $H_2O(s)$ moleküllerinin sayısı azalır.
- Birim hacimdeki su buharı moleküllerinin sayısı değişmez.

Bilgi Kutusu

Değişik sıcaklıklarda suyun buhar basıncı

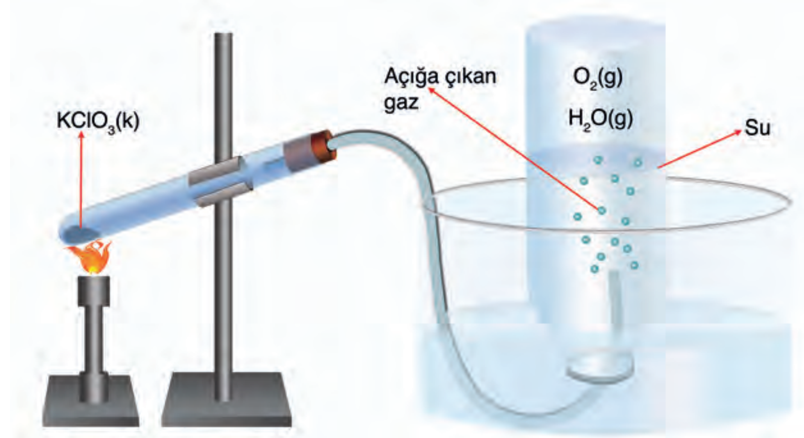
Sıcaklık (°C)	Suyun Denge Buhar Basıncı (mmHg)
0	4,58
5	6,54
10	9,21
15	12,79
20	17,54
25	23,76
30	31,82
35	42,18
40	55,32
50	92,51
60	149,38
70	233,70
80	355,10
90	525,76
100	760,00

Bilgi Kutusu

Su üstünde toplanan gaz ve su buharının bulunduğu kabın hacmi küçültüğünde gazın kısmi basıncı arttığından suda çözünürlüğü de artar. Fakat bu çözünme eser miktarda olduğu için toplam basınç hesaplamasında dikkate alınmaz.

Dalton'un Kısmi Basınçlar Yasası, su üzerinde toplanan gazların hacimlerini hesaplamakta da kullanılır. Örneğin potasyum klorat ($KClO_3$) ısıtıldığında potasyum klorür (KCl) ve oksijen gazına (O_2) ayrışır.

$2KClO_3(k) \rightarrow 2KCl(k) + 3O_2(g)$

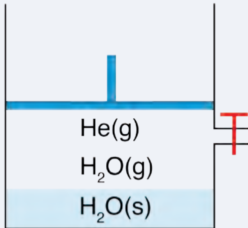


Görsel 2.26: *Su üzerinde gaz toplama düzeneği*

Oksijen, Görsel 2.26'da gösterildiği gibi su üzerinde toplanabilir. Başlangıçta su ile dolu olan şişe ters çevrilip yarısına kadar suyla dolu olan kaba yerleştirilir. Oksijen gazı üretildiği için gaz kabarcıkları en üste yükselir ve şişedeki suyun yerini alır. Bu gaz toplama yöntemi gazın su ile tepkimeye girmediği ve suda fark edilebilecek derecede çözünmediği varsayımlarına dayanır. Bu varsayımlar oksijen gazı için geçerlidir. Ancak suda kolayca çözünebilen NH_3 gibi gazlar için geçerli değildir. Bununla birlikte bu yöntemle toplanan oksijen gazı saf değildir çünkü şişede su buharı da vardır. Toplam gaz basıncı, oksijen gazının kısmi basıncı ile suyun denge buhar basıncının toplamına eşittir.

$$P_T = P_{O_2} + P_{H_2O}$$

ÖRNEK



Şekildeki kapta t °C'de toplam basınç 417,5 mmHg'dir. Piston yukarı çekilerek gazın hacmi iki katına çıkarıldığında toplam basınç 217,5 mmHg oluyor. Aynı sıcaklıkta suyun denge buhar basıncı kaç mmHg'dir?

ÇÖZÜM

Başlangıçta $P_T = P_{He} + P_{su}$ $\quad 417,5 = P_{He} + P_{su}$

Hacim iki katına çıkarıldığında He gazının kısmi basıncı yarıya düşer, suyun denge buhar basıncı değişmez.

$217,5 = \frac{P_{He}}{2} + P_{su}$

$417,5 = P_{He} + P_{su}$ $\qquad 417,5 = P_{He} + P_{su}$

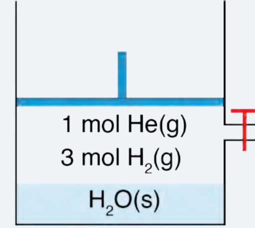
(-2 ile çarpılır.) $217,5 = \frac{P_{He}}{2} + P_{su}$ $\qquad -435 = -P_{He} - 2P_{su}$

$-17,5 = -P_{su}$ $\quad P_{su} = 17,5$ mmHg

ÖRNEK

Şekildeki sürtünmesiz hareketli pistonla kapatılmış kapta 25 °C'de toplam basınç 344 mmHg'dır. Aynı sıcaklıkta hacim iki katına çıkarılıp kaba 1 mol He gazı daha ekleniyor. Buna göre son durumda kaptaki toplam basınç kaç mmHg olur?

(25 °C'de suyun denge buhar basıncı 24 mmHg'dır. Gazların sudaki çözünürlüklerini ihmal ediniz.)



ÇÖZÜM

Başlangıçta

$P_{He} + P_{H_2} + P_{H_2O} = P_T$

$P_{He} + P_{H_2} + 24\ mmHg = 344\ mmHg$

$P_{He} + P_{H_2} = 320\ mmHg$ $n_{He} = 1\ mol$ $n_{H_2} = 3\ mol$

Kısmi basınç mol sayısı ile orantılıdır. $P_{He} = 80\ mmHg$ $P_{H_2} = 240\ mmHg$

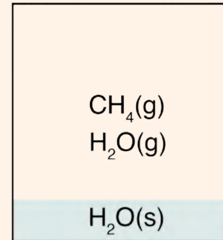
Helyum gazının mol sayısı ve hacmi iki katına çıktığı için kısmi basıncı değişmez. Hidrojen gazının hacmi iki katına çıktığı için kısmi basıncı yarıya iner. Suyun denge buhar basıncı değişmez.

$P_{He} + P_{H_2} + P_{H_2O} = P_T$ $80 + 120 + 24 = P_T = 224\ mmHg$

2.23. Alıştırma

Şekildeki kapta 27 °C sıcaklıkta 40 mmHg basınç yapan CH_4 gazı ve sıvısıyla dengede bulunan su buharı bulunmaktadır. Kap ısıtılarak sıcaklık 57 °C'ye çıkarılırsa kaptaki toplam basınç kaç mmHg olur?

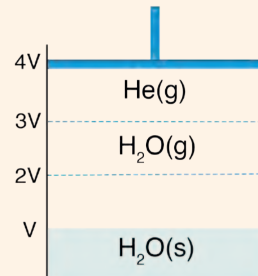
(Suyun 27 °C'deki denge buhar basıncı 28 mmHg ve 57 °C'deki denge buhar basıncı 130 mmHg'dır.)



2.24. Alıştırma

Şekildeki kapta t °C'de He gazı ve buharıyla dengede su vardır. Piston 4V çizgisindeyken toplam basınç 260 mmHg'dır. Aynı sıcaklıkta piston 4V çizgisinden 2V çizgisine itildiğinde toplam basınç kaç mmHg olur?

(t °C'de P_{su} = 28 mmHg, Helyum gazı suda çözünmez.)



b) Aynı ve Bileşik Kaplardaki Gazlar

Gazlar; sabit hacimli, sürtünmesiz hareketli pistonlu ve bileşik kaplarda bulunabilir. Bu tür kaplardaki basınç, hacim, mol sayısı, sıcaklık ve özkütle gibi değişkenlerin özellikleri aşağıdaki gibidir:

Sabit hacimli kaplar

X gazı

- P: değişken
- V: sabit
- n: sabit
- T: değişken
- d: sabit

$P\cancel{V} = \cancel{n}\cancel{R}T$ sabit olan değerler eşitlikte yazılmaz.

$\frac{P}{T} = \text{sabit}$ $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$

X gazı

- P: değişken
- V: sabit
- n: değişken
- T: değişken
- d: değişken

$P\cancel{V} = n\cancel{R}T$ sabit olan değerler eşitlikte yazılmaz.

$\frac{P}{nT} = \text{sabit}$ $\frac{P_1}{n_1T_1} = \frac{P_2}{n_2T_2}$

Pistonlu kaplar

X gazı

- P: sabit
- V: değişken
- n: sabit
- T: değişken
- d: değişken

$\cancel{P}V = \cancel{n}\cancel{R}T$ sabit olan değerler eşitlikte yazılmaz.

$\frac{V}{T} = \text{sabit}$ $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

X gazı

- P: sabit
- V: değişken
- n: değişken
- T: değişken
- d: değişken veya sabit

$\cancel{P}V = n\cancel{R}T$ sabit olan değerler eşitlikte yazılmaz.

$\frac{V}{nT} = \text{sabit}$ $\frac{V_1}{n_1T_1} = \frac{V_2}{n_2T_2}$

Şekildeki musluklu pistonlu kaba aynı sıcaklıkta X gazı veya M_A'sı X gazı ile aynı olan başka bir gaz eklenirse özkütle (d) değişmez. Aynı sıcaklıkta eklenen gazın M_A'sı X gazından büyükse özkütle artar, küçükse özkütle azalır.

Bileşik kaplar

X(g) P_1 V_1, T   Y(g) P_2 V_2, T

Şekildeki bileşik kapta aynı sıcaklıkta tepkime vermeyen X ve Y gazları vardır. Kaplar arasındaki musluk açıldığında

$P_{son}V_{son} = P_1V_1 + P_2V_2 + ...$

$V_{son} = V_1 + V_2 + ...$ olur.

Bileşik kaplarda kaplar arasındaki musluk açıldığında gazlar arasında tepkime gerçekleşebilir.

Bir kapta bulunan gazlar arasında gerçekleşen tepkimelerde tepkime öncesi veya tepkime sonrası gazların mol sayısı, sıcaklık, basınç ve hacimle ilgili işlemleri PV=nRT bağıntısı kullanılarak yapılabilir.

Kısmi basınçlar bulunur. Tepkime kısmi basınçlara göre oluşturulur ve tepkime sonundaki kısmi basınçların toplamından kaptaki son basınç hesaplanır. Tepkimeli gaz problemleri çözülürken sabit sıcaklıkta basınç ile mol sayısı doğru orantılı olduğundan basınç değerleri de kullanılabilir. Tepkime sonunda katı bir madde oluşuyorsa katının mol sayısı dikkate alınmaz. Sıvı madde oluşuyorsa sıvının denge buhar basıncı hesaplamaya katılır.

ÖRNEK

Sabit hacimli T sıcaklığındaki bir kapta 2 mol He gazı 2 atm basınç yapıyor. Kaba He gazıyla tepkime vermeyen 1mol H_2 gazı eklenip, mutlak sıcaklık iki katına çıkarıldığında kaptaki son basınç kaç atm olur?

ÇÖZÜM

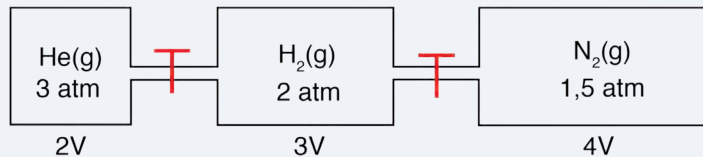
$P_1 = 2$ atm $n_1 = 2$ mol $T_1 = T$ V = sabit

$P_2 = ?$ $n_2 = 2 + 1 = 3$ mol $T_2 = 2T$

$$\frac{P_1}{n_1T_1} = \frac{P_2}{n_2T_2} \Rightarrow \frac{2}{2.T} = \frac{P_2}{3.2T} \qquad P_2 = 6 \text{ atm}$$

ÖRNEK

Şekildeki bileşik kapta aynı sıcaklıkta tepkime vermeyen He, H_2 ve N_2 gazları vardır. Aynı sıcaklıkta kaplar arasındaki musluk açıldığında son basınç kaç atm olur?

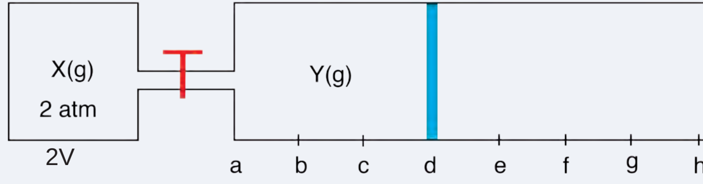


ÇÖZÜM

$$P_{son} V_{son} = P_1V_1 + P_2V_2 + P_3V_3$$

$$P_{son}9V = 3.2V + 2.3V + 1{,}5.4V \qquad P_{son} = 2 \text{ atm}$$

ÖRNEK



Şekildeki bileşik kap, sabit sıcaklıkta dış basıncın 1 atm olduğu ortamda bulunmaktadır. Tepkime vermeyen X ve Y gazları arasındaki musluk açıldığında piston hangi noktada durur? (Bölmeler eşit aralıklı V hacimlidir.)

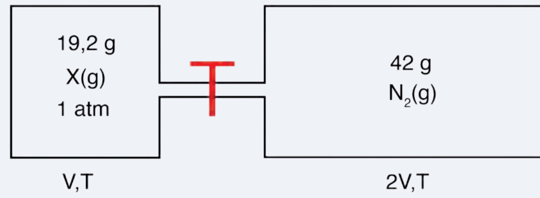
ÇÖZÜM

Y gazının başlangıçtaki basıncı dış basınca eşittir.
Kaplar arasındaki musluk açıldığında

$P_{son}V_{son} = P_1V_1 + P_2V_2$ $\quad 1.V_{son} = 2.2V + 1.3V$ $\quad V_{son} = 7V$ olur.

Bu durumda piston f noktasında durur.

ÖRNEK



Şekildeki kaplar arasındaki musluk aynı sıcaklıkta açıldığında son basınç 2 atm oluyor. Buna göre X gazının mol kütlesi kaçtır? (N:14)

ÇÖZÜM

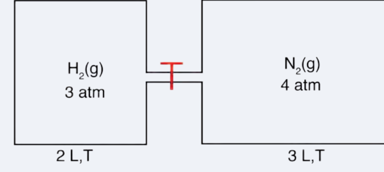
$P_{son}V_{son} = P_1V_1 + P_2V_2$ $\quad 2.3V = 1.V + P_{N_2}.2V$ $\quad P_{N_2} = 2.5$ atm

$n_{N_2} = \frac{42}{28} = 1,5$ mol $\quad \frac{P_X V_X}{n_X T} = \frac{P_{N_2} V_{N_2}}{n_{N_2} T}$ $\quad \frac{1.V}{n_X} = \frac{2,5.2V}{1,5}$ $\quad n_X = 0,3$ mol

$n = \frac{m}{M_A}$ $\quad \Rightarrow \quad 0,3 \text{ mol} = \frac{19,2}{M_A}$ $\quad \Rightarrow \quad M_X = \frac{19,2}{0,3} = 64$ g/mol olur.

ÖRNEK

Kaplar arasındaki musluk açıldığında gazlar arasında tam verimle $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$ tepkimesi gerçekleşmektedir. Tepkime sonunda aynı sıcaklıkta kaptaki toplam basınç kaç atm olur?



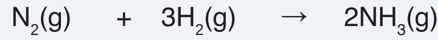
ÇÖZÜM

Musluk açıldığında tepkime öncesi gazların kısmi basınçları

H_2 gazı için $P_1V_1 = P_2V_2$ $3.2 = P_2.5$ $P_2 = 1,2$ atm olur.

N_2 gazı için $P_1V_1 = P_2V_2$ $4.3 = P_2.5$ $P_2 = 2,4$ atm olur.

Tepkime gerçekleştiğinde gazların kısmi basınçları ve toplam basınç

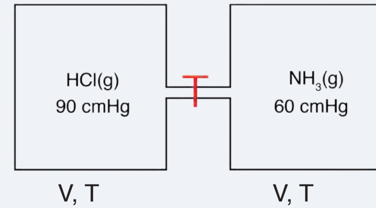


	$N_2(g)$	+ $3H_2(g)$	$\rightarrow$ $2NH_3(g)$
Başlangıç:	2,4 atm	1,2 atm	----
Değişim :	-0,4 atm	-1,2 atm	+0,8 atm
Sonuç :	2 atm	----	0,8 atm

$P_T = 2 + 0,8 = 2,8$ atm olur.

ÖRNEK

Kaplar arasındaki musluk açıldığında gazlar arasında tam verimle $NH_3(g) + HCl(g) \rightarrow NH_4Cl(k)$ tepkimesi gerçekleşmektedir. Tepkime sonunda başlangıç sıcaklığına dönüldüğünde kaptaki toplam basınç kaç cmHg olur?



ÇÖZÜM

Musluk açıldığında,

NH_3 gazı için $P_1V_1 = P_2V_2$ $60.V = P_2.2V$ $P_2 = 30$ cmHg

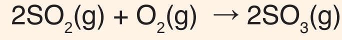
HCl gazı için $P_1V_1 = P_2V_2$ $90.V = P_2.2V$ $P_2 = 45$ cmHg

	$NH_3(g)$	+ $HCl(g)$	$\rightarrow$ $NH_4Cl(k)$
Başlangıç:	30 cmHg	45 cmHg	----
Değişim :	-30 cmHg	-30 cmHg	----
Sonuç :	-----	15 cmHg	----

$P_T = 15$ cmHg olur.

2.25. Alıştırma

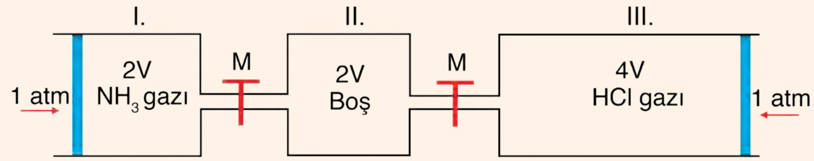
Sabit hacimli bir kapta 3 mol SO_2 gazı ile 2 mol O_2 gazı karıştırılıyor. Bu karışımın 0 °C sıcaklıkta basıncı 2P'dir. Gazlar arasında



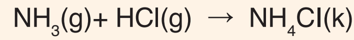
$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g)$$

tepkimesi tam verimle gerçekleşiyor. Tepkime sonunda başlangıç sıcaklığına getirilen kapta son basınç kaç P olur?

2.26. Alıştırma



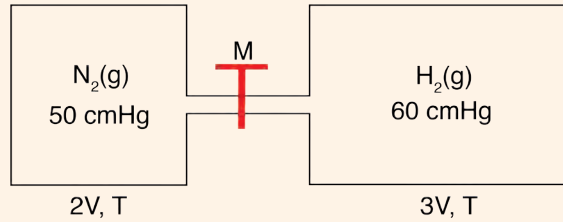
Yukarıdaki düzenekte T sıcaklığında musluklar açılarak I. kaptaki gazın %25'i III. kaptaki gazın %50'si, II. kaba bir piston yardımıyla aktarılıp musluklar kapatılıyor. II. kapta



$$NH_3(g) + HCl(g) \rightarrow NH_4Cl(k)$$

tepkimesi gerçekleşiyor. Tepkime sonunda tekrar başlangıç sıcaklığına dönüldüğünde II. kabın son basıncı kaç atm olur?

2.27. Alıştırma



Şekildeki kaplar arasındaki M musluğu açılıp sabit sıcaklıkta $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$ tepkimesi tam verimle gerçekleşmektedir. Buna göre tepkimeden sonra gazların kısmi basınçları ve toplam basınç kaç cmHg'dır?

2.1 UYGULAMA SORULARI

Aşağıda verilen soruları yanıtlayınız.

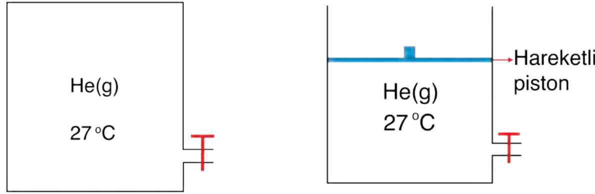
1. Bir kapta bulunan 2 L H_2 gazı 400 mmHg basınç yapıyor. Bu gaz için aşağıdaki değişiklikler yapılıyor.

I. Kaba H_2 gazının molekül sayısının 2 katı kadar CH_4 molekülü ekleniyor.

II. Mutlak sıcaklık 2 katına çıkarılıyor.

Buna göre son basıncın 1200 mmHg olması için kabın hacmi kaç L olmalıdır?

2.



Şekildeki kaplarda bulunan gazların sıcaklıkları, hacimleri ve basınçları eşittir.

Kaplardaki gazların sıcaklıkları iki katına çıkarılırsa

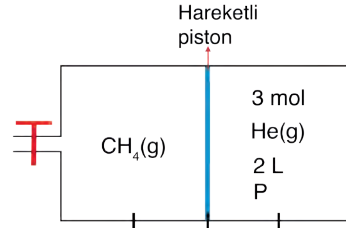
I. Basınç

II. Ortalama kinetik enerji

III. Hacim

nicelikleri her iki kaptaki gaz için nasıl değişir? Nedenini açıklayınız.

3. Şekildeki kapta sabit sıcaklıkta CH_4 ve He gazları varken piston dengededir. **CH_4(g)'nın bulunduğu kaba 96 g CH_4(g) ilave edilip piston tekrar dengeye geldiğinde CH_4(g)'nın son basıncının ilk basıncına oranı kaçtır?** (H:1, He:4, C:12)



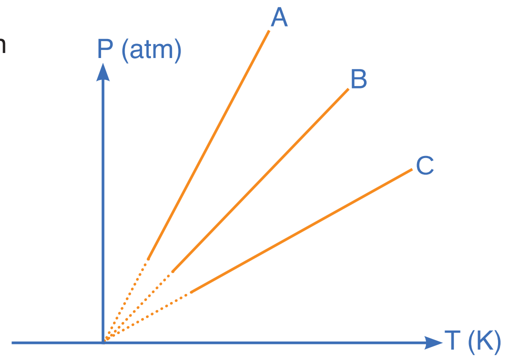
4. Sabit hacimli bir kapta eşit kütleli A, B, C gazlarının basınç-mutlak sıcaklık grafikleri yanda verilmiştir.

Buna göre

a) Gazların mol sayılarını

b) Aynı sıcaklıkta difüzyon hızlarını

c) Aynı sıcaklıkta özkütlelerini karşılaştırınız.



5. BÖLÜM

GERÇEK GAZLAR

- Günlük yaşamda hangi gazlar kullanılır?
- Gazların hacimleri hangi durumlarda ihmal edilir?
- Gerçek gazların ölçülen hacim ve basınçları ideal gaz denkleminde hesaplanan hacim ve basınca eşit midir?
- Buhar ile gaz kavramları arasındaki fark nedir?
- Gerçek gazları ideal gazdan ayıran özellikler nelerdir?

2.5.1. Gerçek Gaz ve İdeal Gaz

Sanayide ve birçok araştırma laboratuvarında kullanılması gereken bazı gazlar vardır. Bu gazlar ideal gaz yasalarının çok fazla geçerli olmadığı yüksek basınçlarda kullanılır. İdeal gaz yasası sınırlayıcı bir yasa olup sadece basınç sıfıra doğru yaklaşırken ($P \rightarrow 0$) geçerlidir.

Kinetik teoriye göre gaz moleküllerinin öz hacimleri ve gaz molekülleri arasındaki itme-çekme kuvvetleri ihmal edilir. Bu koşulları sağlayan gaz, ideal bir gazdır. Gerçekte hiçbir gaz tam anlamıyla ideal gaz değildir. İdeal gaz kavramı bir varsayımdır.

a) Gerçek Gazların İdeal Davranıştan Sapması

Gaz yasalarına göre gazların birbirine çekme ve itme kuvveti uygulamadığı, gaz moleküllerinin hacimlerinin kabın hacmi yanında ihmal edildiği varsayılır. Bu iki koşulu sağlayan bir gazın ideal davrandığı söylenir. İdeal gazda yok farz edilen moleküller arası kuvvetler, gerçekten olmasaydı gazlar sıkıştırılarak sıvılaştırılamazdı. O hâlde gerçek gazların hangi koşullarda ideal ya da ideale yakın olduğu önemlidir.

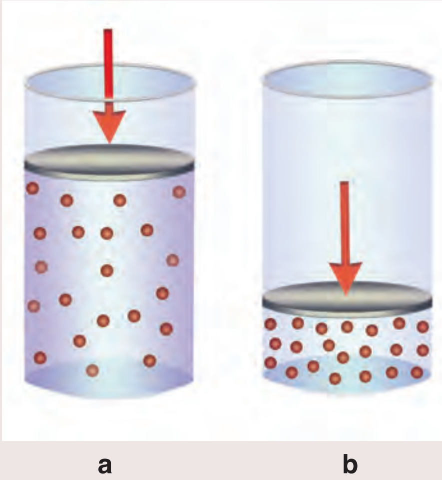
Gerçek gazlar uygun koşullarda ideal gaz yasasına yakın davranır.

Bir gazın ideal gaz koşulundan ne kadar saptığının ölçüsü sıkıştırılabilirlik faktörü ile belirlenir. Bir gazın sıkıştırılabilirlik faktörü PV/RT oranıdır. İdeal gaz bağıntısından ($PV = nRT$), 1 mol ideal gaz için bu oranın $PV/RT = 1$ olduğu görülür. Gerçek bir gaz için, sıkıştırılabilirlik faktörü önemli ölçüde 1'den farklıdır. Değişik gazların 300 K ve 10 barda sıkıştırılabilirlik faktörü değerleri Tablo 2.7'de verilmiştir. Tablo 2.7'ye göre 300 K ve 10 barda He, H_2, CO, N_2 ve O_2 oldukça ideale yakın davranırken ($PV/RT \cong 1$), NH_3 ve SF_6 idealden sapar ($PV/RT \cong 0,88$).

Gerçek gazların hacmi Boyle Yasası'na göre çok yüksek basınçlarda çok küçüktür ve sıfıra yaklaşır şeklinde açıklanabilir. Ancak gerçek gazlarda moleküllerin kendilerinin de bir hacmi vardır ve Görsel 2.27'de gösterildiği gibi bu hacim belirli bir noktaya kadar azaltılabilir.

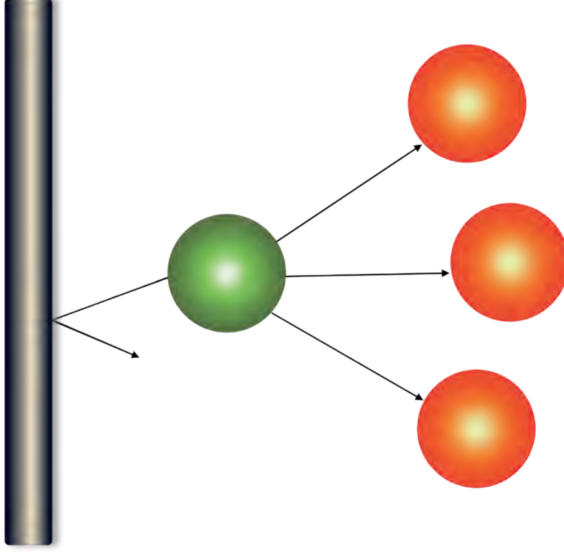
Tablo 2.7: *10 bar ve 300 K'de Bazı Gazların Sıkıştırılabilirlik Faktörleri*

Gaz	Sıkıştırılabilirlik Faktörü
H_2	1,006
He	1,005
İdeal gaz	1
N_2	0,998
CO	0,997
O_2	0,994
NH_3	0,887
SF_6	0,880



Görsel 2.27: *Molekül büyüklüğünün etkisi a) Kabın önemli bir kısmı boşluktur ve gaz daha küçük bir hacme sıkıştırılabilir. b) Moleküller doldurulabilecek boşluğun büyük bir kısmını doldurmuştur ve geriye çok az bir boşluk kalmıştır.*

Gerçek gazlarda PV değeri ideal gaz için beklenenden daha büyük olup sıkıştırılabilirlik faktörü 1'den büyük olur. Gazlarda moleküller arası kuvvetlerin varlığı kabul edilmelidir. Görsel 2.28'de moleküller arası çekim kuvvetlerinden dolayı gaz moleküllerinin kabın çeperleriyle çarpışma kuvvetinin, ideal gazdan beklenenden az olduğunu göstermektedir.



Görsel 2.28: *Tanecikler arası çekim kuvvetleri*

Turuncu renkli taneciklerin yeşil taneciğe uyguladığı çekim kuvveti, yeşil taneciğin kabın duvarına çarptığında uygulayacağı kuvveti azaltır. Tanecikler arası çekim kuvvetleri sıkıştırılabilirlik faktörünün 1'den küçük olmasına neden olur. Bu kuvvetler taneciklerin öteleme hareketinin yavaşladığı düşük sıcaklıklarda artan bir öneme sahiptir.

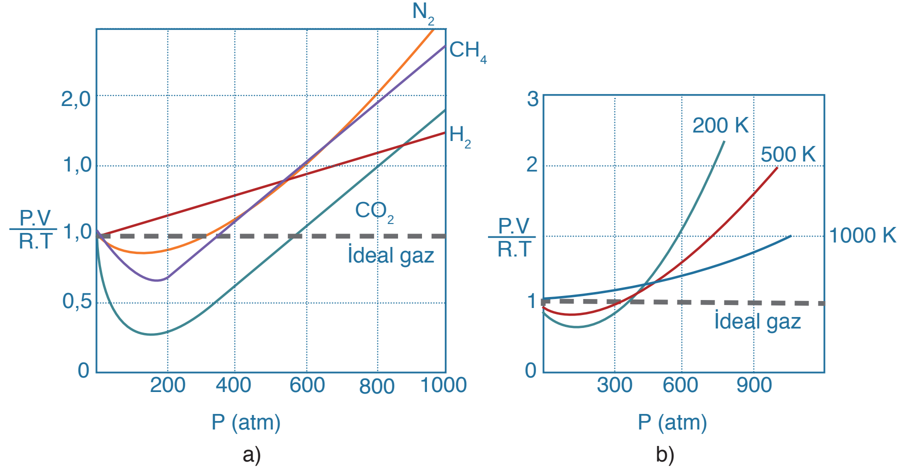
Sonuç olarak

- Gerçek gazlar yüksek sıcaklık ve düşük basınçlarda idealliğe yaklaşır.
- Gerçek gazlar düşük sıcaklık ve yüksek basınçlarda ideallikten uzaklaşır.
- Aynı koşullarda M_A değeri küçük olan gazlar ideale daha yakındır.
- Aynı koşullarda gazın polarlığı arttıkça gerçek gaz özelliği artarken ideallikten uzaklaşır.

İdeallikten sapma gazın cinsine, basınç ve sıcaklık koşullarına bağlı olarak değişir. Aynı gaz için sıcaklık azaldıkça ve basınç arttıkça ideallikten sapma miktarı da artar.

Tanecikler arası etkileşimler ideal gazlarda ihmal edilir. Gerçek gazlarda yüksek sıcaklıkta gaz moleküllerinin hızı çok fazla olduğundan moleküller arası çekim kuvvetleri, moleküllerin kinetik enerjileri yanında ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Ancak düşük sıcaklıklarda moleküllerin hızı azalacağından çekim kuvvetleri molekülleri birbirine yaklaştırır. Gerçek gazlarda tanecikler arası etkileşimler ihmal edilemez.

Bu durumda gerçek bir gazın basıncı, ideal gaz denkleminde hesaplanan basınçtan daha küçük olur (Grafik 2.10).



Grafik 2.10: *a) Farklı gazların ideallikten sapmaları. b) Aynı gazın farklı sıcaklıklarda ideallikten sapması*

2.28. Alıştırma

Aynı sıcaklık ve basınç koşullarında bulunan H_2, CH_4, He, CO_2 ve SO_2 gazlarını idealliğe yakınlıklarına göre sıralayınız.
(H:1, He:4, C:12, O:16, S:32)

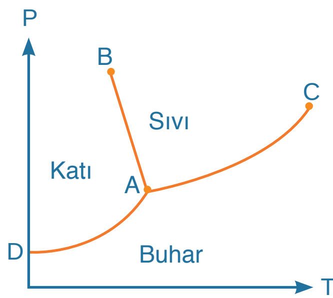
b) Karbon dioksitin ve Suyun Faz Diyagramları, Buhar ve Gaz Kavramları

Her tarafı aynı homojenlikte olan, sınırları tanımlanabilen, diğer fazlardan fiziki olarak ayrılabilen sıvı, gaz veya katı sistemin bir parçasına **faz** denir. Bu tanıma göre kapalı bir kap içindeki su, üzerindeki su buharı ile beraber iki fazdan, buzlu su ise üç fazdan oluşan bir sistemdir.

Katı, sıvı ve gazın tek bir faz ya da bunlardan ikisi veya daha çoğunun dengede olduğu sıcaklık ve basınç koşullarının grafikle gösterimine **faz diyagramı** denir. Faz diyagramı, farklı basınç ve sıcaklıklarda hangi fazın daha kararlı olduğunu gösteren bir haritadır. Katı, sıvı ve gaz fazlar arasındaki geçişler faz diyagramları grafikleri ile gösterilir. Bir faz diyagramı; maddenin hangi şartlar altında katı, sıvı ya da gaz fazında olacağını gösterir. Faz diyagramında üç eğrinin birleştiği noktaya **üçlü nokta** denir.

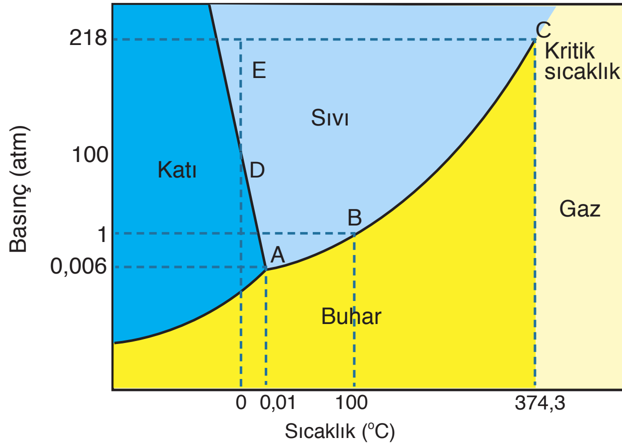
Suyun Faz Diyagramı

Herhangi iki fazı ayıran çizgi fazların denge hâlinde bulunduğu koşulları gösterir. Örneğin sıvı ile buhar fazları arasındaki eğri buhar basıncının sıcaklıkla değişimini göstermektedir. Benzer şekilde diğer iki eğri, buz ile su ve buz ile su buharı arasındaki denge koşullarını göstermektedir. (Sıvı-katı eğrisinin negatif eğime sahip olduğuna dikkat ediniz.) Suyun faz diyagramı Grafik 2.11'de verilmiştir. Grafik katı, sıvı ve gaz fazını göstermek üzere üç bölgeye ayrılmıştır.



Grafik 2.11: *Suyun farklı sıcaklık ve basınç değerlerindeki faz diyagramında D-A eğrisi süblimleşme, A-B eğrisi erime, A-C eğrisi buharlaşmayı gösterir.*

Su için üçlü nokta 0,01 °C ve 0,006 atm'dir. Bu nokta üç fazın da dengede bulunduğu yegâne sıcaklık ve basıncı gösterir.

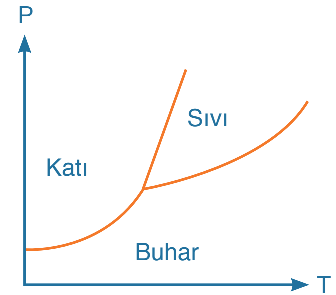


Grafik 2.12: *Suyun farklı sıcaklık ve basınç değerlerindeki faz diyagramı*

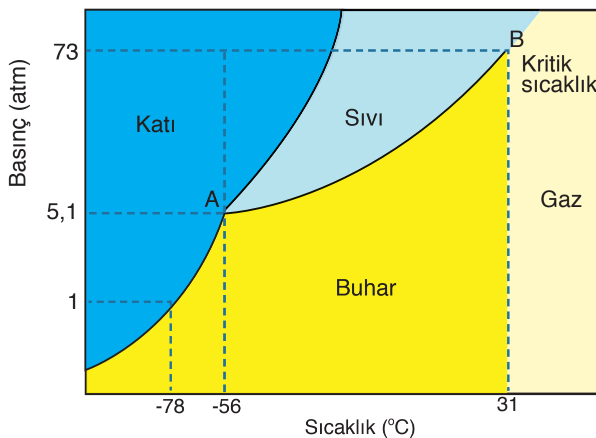
Faz diyagramlarını kullanarak dış basınç ile kaynama ve erime noktasının nasıl değişeceğini tahmin etmek mümkündür. Ayrıca faz diyagramlarını kullanarak sıcaklık ve basıncın değişimi ile faz değişiminin hangi yöne kayacağı da bulunabilir. Suyun normal donma noktası 1 atm basınçta 0 °C, kaynama noktası 100 °C'dir. Eğer erime ve kaynama noktaları farklı bir basınç altında ölçülürse ne olur? Grafik 2.12'de 1 atm'nin üzerindeki dış basınçta suyun kaynama noktasının yükseleceği ve erime noktasının düşeceği açıkça görülür. Bunun tersine dış basıncın azaltılması kaynama noktasını düşürürken erime noktasını yükseltir.

Karbon dioksitin Faz Diyagramı

Karbon dioksitin faz diyagramı (Grafik 2.13) suyun faz diyagramına çok benzemektedir. Ancak aradaki en önemli fark, karbon dioksitin faz diyagramında katı ile sıvıyı ayıran eğrinin eğiminin pozitif olmasıdır. Bu durum su, antimon ve bizmut dışında tüm maddeler için geçerlidir. Suyun faz diyagramında görüldüğü gibi buzun sudan daha az yoğun olması nedeniyle katı-sıvı sınırı negatif eğime sahiptir. Karbon dioksitin üçlü noktasındaki basınç ve sıcaklık 5,1 atm ve -56 °C'dir (Grafik 2.14).



Grafik 2.13: *Karbon dioksitin faz diyagramı*



Grafik 2.14: *Karbon dioksitin farklı sıcaklık ve basınç değerlerindeki faz diyagramı*

Karbon dioksitin faz diyagramı incelendiğinde farklı bir durum olduğu görülür. Görüldüğü gibi sıvı fazın tümü atmosfer basıncının üstünde yer almaktadır ve dolayısıyla karbon dioksitin 1 atm'de erimesi mümkün değildir. Buna karşın 1 atm'deki katı karbon dioksit, -78 °C'nin üstündeki bir sıcaklığa kadar ısıtılırsa süblimleşir. Katı karbon dioksit şekil olarak buza benzediği için kuru buz olarak adlandırılır (Görsel 2.29). Kuru buz, 1 atm basınçta sıcaklık artışı ile erimeden doğrudan gaz hâline geçer. Bu özelliğinden dolayı kuru buz iyi bir soğutucudur. Kuru buz, erimeden düşük sıcaklık sağladığından soğutma ve besin koruma işlemlerinde yaygın olarak kullanılır.

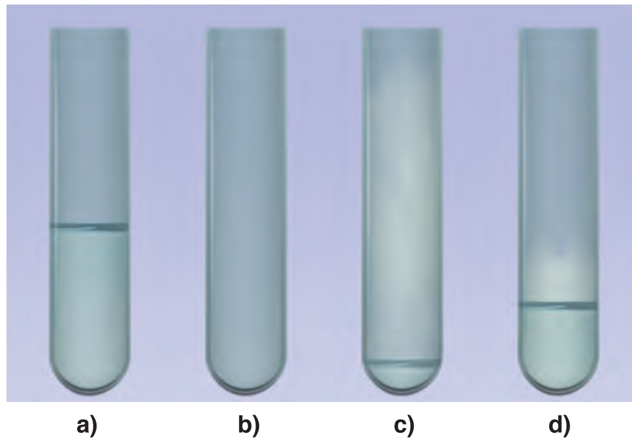
Görsel 2.29: *Kuru buz (katı karbon dioksit)*

Gaz, Buhar ve Kritik Sıcaklık

Buharlaşmanın tersi yoğunlaşmadır ve bir gaz iki şekilde sıvılaştırılabilir. Birinci yöntem gazın soğutularak moleküllerin kinetik enerjilerinin düşürülmesi ve böylece gaz moleküllerinin bir araya kümelenerek küçük sıvı damlaları şeklinde yoğunlaşmasının sağlanmasıdır. İkinci yöntem ise gazlara basınç uygulanarak moleküller arası mesafenin azaltılması ve moleküler çekim kuvvetlerinin arttırılarak yoğunlaştırılmasıdır. Sanayide sıvılaştırma işlemi bu iki yöntemin bileşimini içermektedir.

Her maddenin, uygulanan basınç ne kadar yüksek olursa olsun sıvılaştırılamadığı bir sıcaklık değeri vardır. Bir maddenin uygulanan basınçla sıvılaşabildiği en yüksek sıcaklığa **kritik sıcaklık (T_k)** denir. Kritik sıcaklık bir maddenin sıvı hâlde bulunabileceği en yüksek sıcaklıktır ve bu sıcaklığın üzerindeki gaz sıvılaştırılamaz. Kritik sıcaklıkta sıvılaştırmanın sağlanabileceği en düşük basınca da **kritik basınç (P_k)** denir.

Kritik sıcaklığın nicel olarak açıklanması moleküller arası kuvvetler ile yapılabilir. Herhangi bir bileşikte moleküller arası kuvvetler kritik sıcaklık değerinin altında molekülleri sıvı hâlde bir arada tutmaya yeterlidir. Kritik sıcaklığın üstünde ise moleküller öylesine hareketlidir ki bu çekim kuvvetlerini kolaylıkla kırıp yenebilir. Görsel 2.30'da kükürt heksaflorürün (SF_6) kritik sıcaklığı olan 45,5 °C'nin üzerine kadar ısıtılması ve daha sonra 45 °C'nin altına kadar soğutulmasına ait hâl durumları gösterilmiştir.



Görsel 2.30: *Kükürt heksaflorürde kritik olgu a) Kritik sıcaklık altındaki saydam sıvı faz b) Kritik sıcaklık üzerindeki sıvı fazın yok olması c) Kritik sıcaklığın hemen altına kadar soğutulduğunda sis oluşumu ve buharın yoğunlaşması d) Sıvı fazın tekrar ortaya çıkması*

Tablo 2.8’de çok kullanılan bazı maddelerin kritik sıcaklık ve kaynama noktaları değerleri verilmiştir. Moleküller arası kuvvetleri oldukça güçlü olan amonyak, su, brom ve freon-12 gibi maddeler diğer maddelere göre daha yüksek kritik sıcaklığa sahiptir.

Tablo 2.8: *Bazı Maddelerin Kritik Sıcaklıkları ve 1 atm’deki Kaynama Noktaları*

Madde	Kritik Sıcaklık (°C)	Kaynama Noktası (°C)
NH_3	132,4	-33,34
Ar	-122,3	-186,0
He	-267,8	-268,6
Ne	-228,6	-245,93
H_2	-239,9	-252,75
O_2	-118,8	-182,82
N_2	-147,1	-195,79
H_2O	374,4	100,0
CO_2	31,8	-78,0
F_2	-129,0	-188,1
Cl_2	144,0	-34,6
Br_2	311,0	58,3
CH_4	-83,0	-164,0
Freon-12 (CCl_2F_2)	420,0	-29,8
Puron ($CH_2F_2 + C_2HF_5$)	73,0	-53,0

Bulunduğu sıcaklıkta, hiçbir basınç altında sıvılaştırılamayan sıkıştırılabilir akışkanlara **gaz** denir. Gazların özelliklerini taşıyan ancak bulunduğu sıcaklıkta herhangi bir basınçta sıvılaşabilen akışkanlara **buhar** denir. Gaz ile buhar arasında bir dönüşüm yoktur. Kritik sıcaklığa ulaşıldığında buhar özelliği ortadan kalkar ve gaz özelliği başlar. Bu nedenle buharın sıcaklığı gazın kritik sıcaklığının altında olmalıdır.

c) Gerçek Gazların Hâl Değişimleri ve Soğutma Sistemleri

Gaz molekülleri arasında çekim kuvvetleri arttıkça moleküller birbirine yaklaşır ve madde hâl değiştirerek sıvı hâle geçer. Gazların kaynama sıcaklığı molekülleri arasındaki çekim kuvvetlerine bağlıdır. Bu çekim kuvvetlerinin şiddeti arttıkça gaz daha yüksek sıcaklıkta sıvılaşır. Gazların üzerindeki basınç arttırılırsa gaz molekülleri birbirine yaklaşarak kolayca sıvılaşır.

1 atm basınçtaki bazı maddelerin kaynama noktaları Tablo 2.9'da verilmiştir.

Tablo 2.9: *Bazı Maddelerin 1 atm'deki Kaynama Noktaları ve Tanecikler Arası Etkileşim Türü*

Gazlar	Kaynama Sıcaklığı (°C)	Tanecikler Arası Etkileşim Türü
H_2O	100	Hidrojen bağı, dipol-dipol, London kuvvetleri
C_2H_5OH	78	Hidrojen bağı, dipol-dipol, London kuvvetleri
NH_3	-33,4	Hidrojen bağı, dipol-dipol, London kuvvetleri
$CHCl_3$	61	Dipol-dipol, London kuvvetleri
SO_2	-10	Dipol-dipol, London kuvvetleri
CO_2	-78	London kuvvetleri
CH_4	-161	London kuvvetleri
He	-268	London kuvvetleri

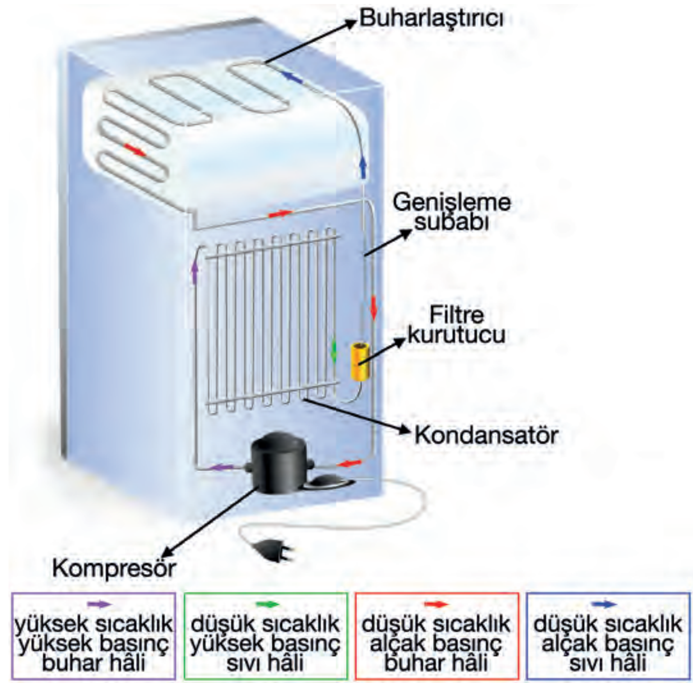
Joule-Thomson Olayı

Gazlar sıcaklık ve molekül hızları arasındaki ilişkiden yararlanılarak sıvılaştırılabilir. Gaz soğutulduğunda moleküllerin ortalama hızı azalır. Gerçek bir gazın molekülleri, aralarındaki çekim kuvvetleri kullanılarak ve gazın genleşmesine izin verilerek yavaşlatılabilir. Gazlar aniden genleştirildiklerinde moleküller birbirinden uzaklaşır ve ortalama hızları azalır. Gaz genleştiğinde moleküller arası çekim kuvvetlerinin yenilmesi için gereken enerji moleküllerin öz ısılarından karşılanır. Böylece gaz soğur. Hızla genleştirilen gazların kendilerini soğuttukları bu olay **Joule-Thomson olayı** olarak bilinir (Görsel 2.31). Bu gözlem, bu konuyu ilk çalışan bilim insanları olan James Joule (Ceyms Jul) ve mutlak sıcaklık ölçeğini geliştiren William Thomson (Vilyım Tamsın) anısına Joule-Thomson etkisi olarak bilinir.

Bir pompa yardımıyla bisiklet lastiği şişirilirken pompanın gaz çıkış vanasının ısınması, bisiklet sibobunun soğumasının nedeni Joule-Thomson olayıdır. Joule-Thomson etkisi bazı ticari buzdolaplarında gazları sıvılaştırmak için kullanılır.

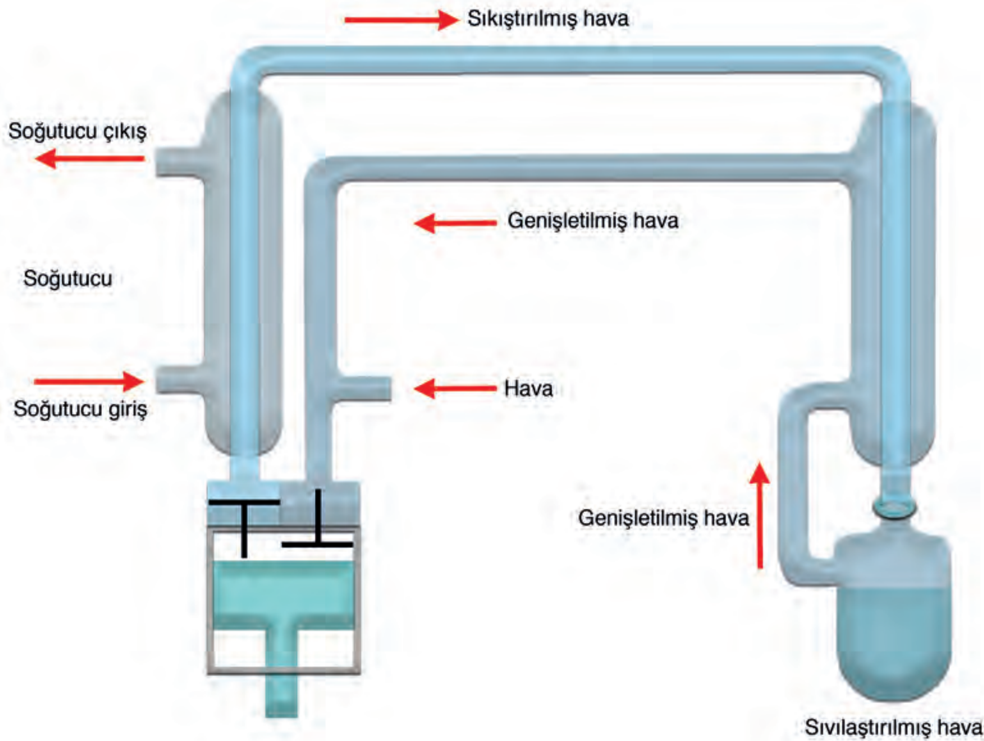
Görsel 2.31: *Sıkıştırılmış gazın genleşirken boruyu soğutması*

Sıvılaştırılacak gaz sıkıştırılır ve gaz kelebeği adı verilen küçük bir delikten bu gazın genleşmesine izin verilir. Gaz genleştiğinde soğur ve soğuyan gaz girişteki sıkıştırılmış gazın üzerinden dolaştırılır. Bu temas ile giren gaz, genleşmeden önce soğutularak daha fazla soğuması sağlanır. Gaz sıkıştırılarak bu döngü sürekli tekrarlanırsa gaz sıcaklığı gittikçe düşer ve bir sıvı vermek üzere yoğunlaşır. Gaz, hava gibi bir karışım ise oluşan sıvı daha sonra bileşenlerine ayırmak üzere damıtılabilir. Bu teknik atmosferden azot, oksijen, neon, argon, kripton ve ksenon üretmek için kullanılır. Birçok gaz, Joule-Thomson etkisinden (genleşme ile soğuma) yararlanılarak sıvılaştırılabilir.



Görsel 2.32: *Joule-Thomson olayı ile çalışan buzdolabı soğutma sistemi*

Sıkıştırılan gazların ısınması, genişleyen gazların ise bulundukları ortamı soğutması Joule-Thomson olayının sonucudur. Evlerdeki bütan gaz tüplerinin uzun süreli şofben kullanımlarında soğuduğu gözlemlenir. Günlük hayatta kullanılan klima, buzdolabı gibi soğutma sistemlerinin çalışmasında (Görsel 2.32), Linde metodu ile havanın sıvılaştırılmasında (Görsel 2.33) Joule-Thomson olayından yararlanılır. Buzdolaplarındaki gaz, çok küçük bir delikten püskürtülerek aniden genleştirilir. Bu şekilde sıcaklığı düşürülen gaz borulardan dolanarak buzdolabının iç kısımlarını soğutur.



Görsel 2.33: *Linde metodu ile havanın sıvılaştırılmasında Joule-Thomson olayı*

Soğutucu Akışkanlar

Maddenin sıvı hâlden gaza, gaz hâlden sıvıya geçiş özelliğinden yararlanılarak soğutucular yapılmıştır.

Ortamdan ısı alarak buharlaşan ve ortam sıcaklığını düşüren maddelere **soğutucu akışkanlar** denir. Her madde soğutucu akışkan olarak kullanılmaz. Soğutucu akışkan olarak kullanılan maddenin basınçla sıvılaştırılabilmesi ve üzerindeki basınç kaldırıldığında genleşerek buhar hâline geçmesi gerekir.

Soğutucu akışkanların kritik sıcaklıklarının yüksek, kaynama noktalarının düşük olması gerekir. Suyun, soğutucu akışkan olarak kullanılmamasının sebebi kritik sıcaklığı yüksek olmasına rağmen kaynama sıcaklığının da yüksek olmasıdır. Soğutma sistemleri çalışırken iki temel kural vardır. Bu kurallardan birincisi genleşen gazın soğuması ve yeterince soğuyan gazların sıvılaşmasıdır. İkincisi farklı sıcaklıktaki iki nesneden sıcak olanın soğuyup soğuk olanın ısınmasıdır. Bu kurallara göre genleşen gaz ortamdan ısı alır, sıkışan gaz ortama ısı verir. Günlük hayatta kullanılan buzdolapları, klimalar ve daha büyük tesislerde kullanılan ısı pompaları soğutma çevrimi ile çalışır. Buzdolaplarının arka kısmında bulunan kompresör elektrik akımı ile çalışarak soğutucu gazı sıkıştırır. Böylece gazın basıncı ve sıcaklığı artar. Bu gaz, buzdolabı içine döşenmiş boru sistemine girerek genleşir ve buharlaşır. Buharlaşma sırasında sıvı ısıyı soğurur ve buzdolabı içindeki ortamı soğutur. Genleşmiş gaz, dolaşım sistemi ile kompresöre tekrar gelerek aynı çevrime tekrar girer.

Soğutucu akışkanların özellikleri

- Kritik sıcaklığı ve kritik basıncı yüksek, kaynama noktası düşük olmalıdır.
- Patlayıcı, yanıcı ve zehirli olmamalıdır.
- Çevreye zarar vermemelidir.
- Uygulanabilir bir basınçla sıvılaşmalı, basınç kaldırılınca buharlaşmalıdır.
- Kimyasal olarak aktif olmamalıdır.
- Kolay bulunur ve ekonomik olmalıdır.
- Oda koşullarında buhar hâlinde olmalıdır.
- Enerji tüketimi az olmalıdır.
- Soğutucudaki gaz kaçakların tespitine imkân veren özellikte olmalıdır.

ç) Bilişim teknolojilerinden (animasyon, simülasyon, video vb.) yararlanarak Joule-Thomson olayı açıklanır.

Bilişim teknolojilerinden yararlanarak Joule-Thomson olayının tanıtımını yapınız. İlgili görsellere Millî Eğitim Bakanlığı Eğitim Bilişim Ağı **www.eba.gov.tr** adresinden ulaşılabilir.

OKUMA PARÇASI

Helyum (He) ve Azot (N_2) Gazlarının Sıvılaştırılması

Atmosfer birçok gazın karışımından oluşur. Kuru havanın hacimce %99'dan fazlasını azot ve oksijen gazları, geri kalan %1'lik kısmını ise argon, karbon dioksit, hidrokarbonlar ve diğer gazlar oluşturur. Havada büyük oranda azot ve oksijen gazı bulunduğundan bilim insanları havadan azot ve oksijen gazlarını elde etme yöntemlerini araştırmışlardır.

Soğutucu olarak kullanılan akışkanlar helyum, azot, oksijen ve hidrojendir. Hidrojen ve oksijen kimyasal tepkimeye girdiklerinden dolayı soğutucu gaz olarak tercih edilmez. Helyum ve azot soğutma tesislerinde kullanım açısından geniş yer tutar. Parçacık hızlandırıcılarında yer alan süper iletken kavitelerde (vücut veya herhangi bir yapı içindeki boşluk) azotun kaynama noktası -195,8 °C olduğu için genel olarak ön soğutma işleminde azot gazı kullanılır.

Tablo 2.10: *Helyum ve Azot İçin Yoğunluk, Kaynama Noktası ve Buharlaşma Isısı*

Element	Azot	Helyum
Yoğunluk	0,808 g/cm³ (sıvı)	0,125 g/cm³ (sıvı)
Kaynama noktası	-195,8 °C	-268,9 °C
Buharlaşma ısısı	198 J/g	20,9 J/g

Bu kavitelerin çalışma sıcaklığı -271,35 °C'dir ve bu sıcaklığa ancak helyum soğutma sistemleriyle ulaşılır. Tablo 2.10'da helyum ve azot için kaynama noktası, yoğunluk ve buharlaşma ısısı değerleri verilmiştir. Helyum olmaksızın mutlak sıfıra yakın sıcaklıklara ulaşmak imkânsızdır. Helyum, soy gazların ilk üyesi olup havada çok az bulunur. Helyum atomları arasındaki çekim kuvveti (London kuvvetleri) zayıftır.

Görsel 2.34: *Helyum tüpleri*

Helyumu sıvılaştırmak için -268,9 °C'ye kadar soğutmak gerekir. Başka hiçbir elementin kaynama noktası bu dereceden düşük değildir. Yanıcı olmadığından uçan balonlarda, kaynama noktası düşük olduğundan soğutma sistemlerinde kullanılmaktadır. Sıvılaştırılmış helyum çelik tüplerde saklanır (Görsel 2.34). Sıvı azot ve helyum soğutma sistemlerinde ön soğutucu akışkan olarak kullanılırsa sistemin performansını önemli ölçüde etkiler (Görsel 2.35). Azot; kokusuz, yanması endotermik ve havada %78 oranında bulunan inert bir gazdır. Bu sayede soğutma için gerekli N_2 miktarı havadan sağlanabilir. Sıvı azot, hava sıvılaştırma tesislerinde üretilir.

Alınan hava, kirlilikten ve sudan arındırılır. Daha sonra pompalarla 100 atm basınçta sıkıştırılarak hava soğutulur. Soğutulmuş hava genleşme türbinlerinden geçirilir. Böylece azot ve oksijenden oluşan hava iyice soğutularak sıvılaşır. Sıvı hâldeki azot ve oksijen karışımı ayrımsal damıtma yöntemi yardımıyla azot karışımdan ayrılır ve sıvı hâlde elde edilir. Sıvı azot düşük sıcaklıklara ulaşmak için kullanılır.

Görsel 2.35: *Sıvı azot*

Yazarlar tarafından düzenlenmiştir.

2. ÜNİTE ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A **Aşağıda verilen bilgilere göre soruları cevaplandırınız.**

GAZ YASALARI VE İDEAL GAZ DENKLEMİ

Gaz yasaları; gazların özelliklerini, basınç, hacim ve sıcaklıkla ilişkilerini açıklar. Bu yasalar aşağıda belirtilmiştir:

Boyle Yasası'na göre mol sayısı ve sıcaklığı sabit tutulan bir gazın hacmi ile basıncı ters orantılıdır.

$$V \propto \frac{1}{P} \text{ veya } PV = \text{sabit} \quad (n \text{ ve } T \text{ sabit})$$

Charles Yasası'na göre basıncı ve mol sayısı sabit tutulan bir gazın hacmi, mutlak sıcaklığı ile doğru orantılıdır.

$$V \propto T \text{ veya } \frac{V}{T} = \text{sabit} \Rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = ...= \frac{V_n}{T_n} = \text{sabit}$$

Gay Lussac Yasası'na göre hacmi ve mol sayısı sabit tutulan bir gazın basıncı, mutlak sıcaklık ile doğru orantılıdır.

$$P \propto T \text{ veya } \frac{P}{T} = \text{sabit} \Rightarrow \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = ...= \frac{P_n}{T_n} = \text{sabit}$$

Avogadro Yasası'na göre aynı sıcaklık ve basınçta (aynı koşullarda) bulunan gazların mol sayıları ile hacimleri doğru orantılıdır.

$$\frac{n_1}{V_1} = \frac{n_2}{V_2} = ... = \frac{n_n}{V_n} = \text{sabit}$$

Yukarıda verilen gaz yasalarından faydalanarak aşağıdaki soruları yanıtlayınız.

1. Isınan havanın neden yukarıya çıktığını açıklayınız.

2. Soğuk havada kalan balonun neden büzüştüğünü açıklayınız.

3. Balona hava ilave edildiğinde balon neden şişer?

4. Sıkıştırılan balon neden patlar?

B **Aşağıdaki kavramlar ile ilgili verilen bilgileri doğru (D) ya da yanlış (Y) olarak belirtiniz. Yanlış ise nedenini yazınız.**

	Kavramlar	D/Y	Yanlış ise Nedenini Yazınız
5.	**Gazların özellikleri ve gaz yasaları**		
a)	Gazlar birbiri ile heterojen karışım oluştururlar.		
b)	2 atm = 202650 Pa'dır		
c)	Barometrede cıvanın özkütlesinden daha düşük özkütleli bir sıvı kullanıldığında dış basıncı dengeleyen sıvı yüksekliği artar.		
ç)	Sıcaklığı ve mol sayısı sabit olan bir gazın hacmi arttırılırsa basıncı da artar.		
6.	**İdeal gaz yasası**		
a)	İdeal gaz tanecikleri birbirlerini çeker.		
b)	0 °C 2 atm basınçta 2 mol gaz 44,8 L hacim kaplar.		
c)	Gazlar yüksek sıcaklık ve düşük basınç koşullarında ideal gaz özelliklerine yaklaşırlar.		
ç)	Sabit basınçlı sistemlere aynı sıcaklıkta gaz eklendiğinde özkütle kesinlikle artar.		
7.	**Gazlarda kinetik teori**		
a)	Kinetik teoriye göre gaz taneciklerinin çarpışmalarında toplam enerji korunur.		
b)	Bir gazın mutlak sıcaklığı iki katına çıktığında hızı da iki katına çıkar.		
c)	Kinetik teoriye göre sıcaklıkları aynı olan tüm gazların ortalama kinetik enerjileri eşittir.		
8.	**Gaz karışımları**		
a)	Aynı koşullarda gazların kısmi basınçları mol kesri ile doğru orantılıdır.		
b)	Su buharının kısmi basıncı su miktarına ve bulunduğu kabın hacmine bağlı olarak değişir.		
c)	Muslukla ayrılmış kaplardaki gazlar aynı sıcaklıkta karıştırıldığında gazların kısmi basıncı azalır.		
9.	**Gerçek gazlar**		
a)	Gerçek gazlarda gaz moleküllerinin birbirini çekmediği kabul edilir.		
b)	Aynı koşullarda CH_4 gazı C_4H_{10} gazına göre daha idealdir.		
c)	Gazlar kritik sıcaklığın üzerinde basınç ile sıvılaştırılabilir.		
ç)	$\frac{PV}{RT} = 1$ olan gazlar ideal gazdır.		

C Aşağıdaki kutularda verilen ifadelerden uygun olanları boşluklara yazınız.

soğutucu akışkan	buhar	Avogadro	gaz
mutlak sıcaklık	Boyle	mol kütlesi	Gay Lussac
120	2	Charles	4
60	44,8	30	11,2

10. Mol sayısı ve sıcaklığı sabit olan bir gazın basıncının hacmi ile ters orantılı değişmesi .... Yasası ile açıklanır.

11. Sıcaklığı ve basıncı sabit olan bir gazın 2 molünün 40 L; 4 molünün 80 L olması .... Yasası ile açıklanır.

12. Basıncı ve mol sayısı sabit tutulan bir gazın hacminin mutlak sıcaklık ile doğru orantılı değişmesi .... Yasası ile açıklanır.

13. Belli miktar bir gazın sabit hacimli kapta 300 K'de 200 mmHg basınç; 600 K'de 400 mmHg basınç yapması .... Yasası ile açıklanır.

14. Normal koşullarda 8 g CH_4 gazı .... litre hacim kaplar. (C:12, H:1)

15. 0 °C, 2 atm basınç altında 5,6 L hacim kaplayan 15 g X gazının mol kütlesi .... g/mol'dür.

16. Gazların difüzyon hızları .... karekökü ile ters,..................... karekökü ile doğru orantılı değişir.

17. He gazının difüzyon hızı SO_2 gazının difüzyon hızının .... katıdır. (He:4, SO_2:64)

18. Aynı kapta bulunan 2 mol A ve 4 mol B gazının toplam basıncı 180 mmHg'dır. Bu kapta A gazının kısmi basıncı .... mmHg'dır.

19. Gazların özelliklerini taşıyan ancak bulunduğu sıcaklıkta herhangi bir basınçta sıvılaşabilen akışkanlara .... denir.

20. Ortamdan ısı alarak buharlaşan ve ortam sıcaklığını düşüren maddelere .... denir.

Ç Aşağıdaki açık uçlu soruları cevaplayınız.

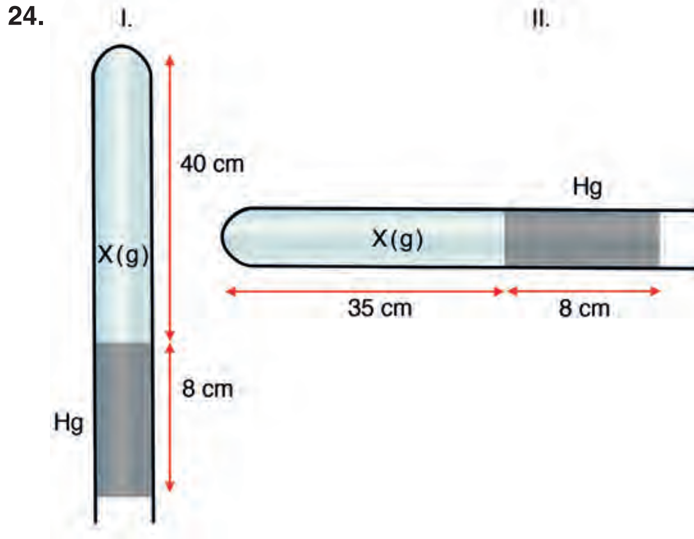
21. Gazların genel özelliklerini yazınız.

22. Aşağıda verilen basınç değerlerini istenen birimlere dönüştürünüz.

a) 190mmHg	...............atm	b) 1,5 atm	...............atm
	...............cmHg		...............cmHg
	...............bar		...............bar
	...............torr		...............torr
	...............Pa		...............Pa

23. Açık hava basıncını ölçen barometrelerde ve kapalı kaplardaki gaz basıncını ölçen manometrelerde cıva kullanılmasının nedenleri neler olabilir?

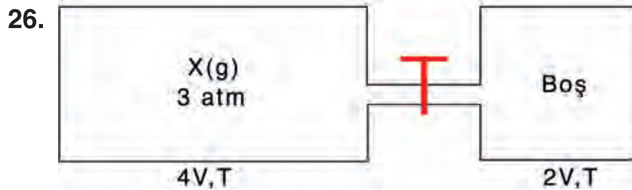
24.



Şekil I cıva ile hapsedilmiş X gazının denge durumunu gösterir. Şekil I'deki X gazı aynı ortamda Şekil II'deki konuma getiridiğinde borudaki yükseklik farkı 40 cm'den 35 cm'ye düşüyor. Buna göre deneyin yapıldığı ortamdaki açık hava basıncı kaç cmHg'dir?

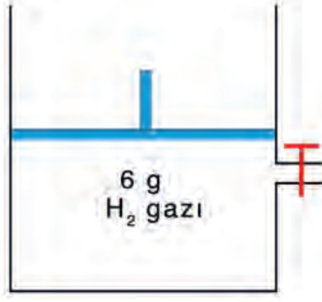
25. 4 gram H_2 gazının 20 L hacim kapladığı koşullarda 48 gram X gazı 30 L hacim kaplamaktadır. Buna göre X gazının mol kütlesi kaçtır? (H:1)

26.



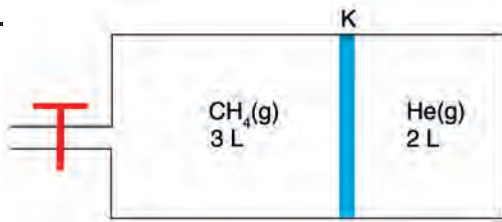
Sabit sıcaklıkta, yandaki sistemde kaplar arasındaki musluk açılarak basınç dengesi kuruluncaya kadar bekleniyor. Buna göre kaptaki son basınç kaç atm olur?

27. Sabit hacimli bir kapta -23 °C'de 8 atm basınç yapan bir gaz örneğinin sıcaklığı 77 °C'ye çıkarılırsa basıncı kaç atm olur?

28. 

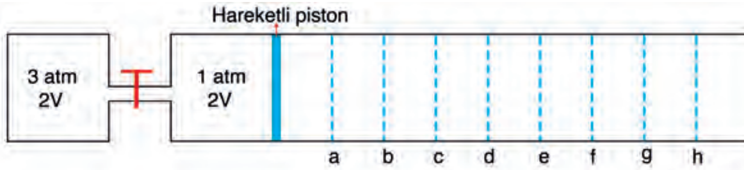
Yandaki 3V hacimli kapta 6 gram H_2 gazı 60 cmHg basınç yapmaktadır. Aynı sıcaklıkta piston yukarı çekilerek hacim 8V yapılıyor ve kaba 12 gram He gazı ekleniyor. Buna göre kaba yapılan son basınç kaç cmHg olur? (H:1, He:4)

29. 56 gram C_2H_4 gazının 4 L hacim kapladığı koşullarda 16 gram X gazı 1 L hacim kapladığına göre X gazının mol kütlesi kaçtır? (C:12, H:1)

30. 

Yandaki kapta sabit sıcaklıkta piston K noktasında sabitlenmiştir. Eşit kütleli He ve CH_4 gazları piston sabitlenmişken sırasıyla 2 L ve 3 L hacim kaplamaktadır. Aynı sıcaklıkta piston serbest bırakılırsa CH_4 gazının hacmi kaç litre olur? (H:1, He:4, C:12)

31. Gerçek gazlarla ideal gazlar arasındaki farkları açıklayınız. Hangi koşullarda gerçek gazlar ideale yaklaşır?

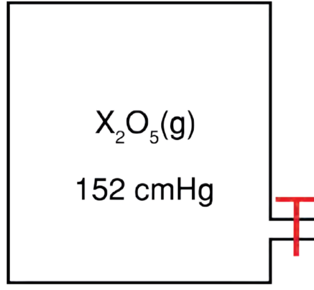
32. 

Şekildeki kapta sabit sıcaklıkta musluk açılıp basınç dengesi kurulduğunda piston nerede durur? (Bölmeler eşit aralıklı ve V hacimlidir.)

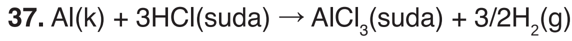
33. Gazlarda kinetik teoriyi açıklayınız.

34. Basıncı 380 mmHg olan O_2 gazının hacmi 22,4 litre ve sıcaklığı 273 °C'dir. Buna göre kapta kaç gram O_2 gazı vardır? (O:16)

35. Sabit hacimli bir kapta 8 atm basınç altında 273 °C sıcaklıkta yoğunluğu 5 g/L olan X_2 gazı vardır. Buna göre X'in mol kütlesi kaçtır?

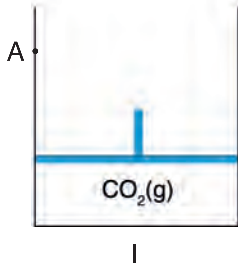
36. 

Yandaki 0,41 litrelik kapta 127 °C'de 2,7 gr X_2O_5 gazı vardır. X'in atom kütlesi kaçtır? (O:16)

37. 
$Al(k) + 3HCl(suda) \rightarrow AlCl_3(suda) + 3/2H_2(g)$

Bir miktar Al metalinin tamamı yukarıdaki denkleme göre tepkimeye giriyor. Oluşan hidrojen gazı 27 °C'de 3 litrelik kapta 4,1 atm basınç yaptığına göre harcanan Al metali kaç gramdır? (Al:27)

38.



Şekildeki sistemde serbest pistonlu kapta sıcaklık artırılarak piston A noktasına çıkarılırsa aşağıdaki ifadeler nasıl değişir?

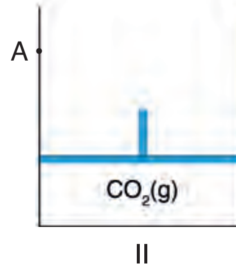
a) Basınç ....

b) Özkütle ....

c) Tanecik hızı ....

ç) Ortalama kinetik enerji ....

d) Birim hacimdeki tanecik sayısı ....



Şekildeki sistemde sabit sıcaklıkta piston çekilerek A noktasına çıkarılırsa aşağıdaki ifadeler nasıl değişir?

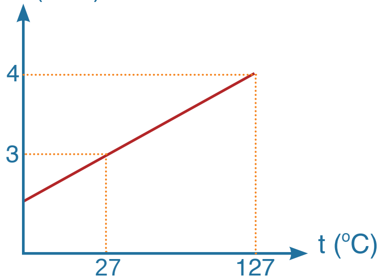
a) Basınç ....

b) Özkütle ....

c) Tanecik hızı ....

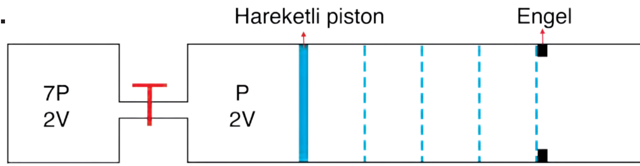
ç) Ortalama kinetik enerji ....

d) Birim hacimdeki tanecik sayısı ....

39. 

Kapalı bir kapta bulunan 2 mol He gazının basınç sıcaklık grafiği yandaki gibidir. Buna göre kabın hacmi kaç litredir?

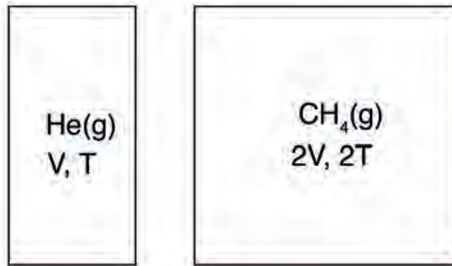
40.



Şekildeki kapta aynı sıcaklıkta musluk açıldığında son basınç kaç P olur? (Bölmeler eşit aralıklı ve V hacimlidir.)

41. 77 °C'de 600 mL'lik bir kapta P basınçlı H_2 gazı bulunmaktadır. Kaba eşit kütlede He gazı eklenip sıcaklık 427 °C'ye kabın hacmi 1,2 L'ye çıkarılıyor. Buna göre kaptaki son basınç kaç P olur? (H:1, He:4)

42.



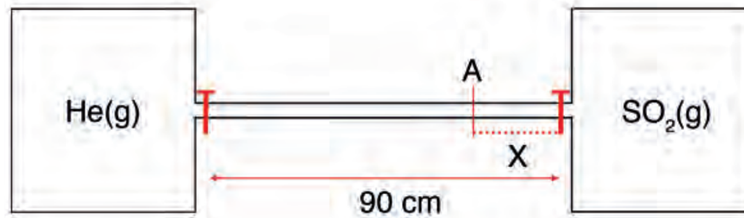
Yandaki sabit hacimli kaplarda eşit kütlede He ve CH_4 gazları bulunmaktadır. Buna göre

a) Gazların difüzyon hızları,

b) Gazların basınçları,

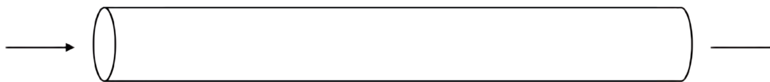
c) Gazların özkütleleri arasında nasıl bir ilişki vardır? (H:1, He:4, C:12)

43.



Şekildeki sistemde 90 santimetrelik cam borudaki musluklar aynı sıcaklıkta aynı anda açılıyor ve gazlar ilk olarak A noktasında karşılaşıyorlar. X uzunluğu kaç cm'dir? (He:4, O:16, S:32)

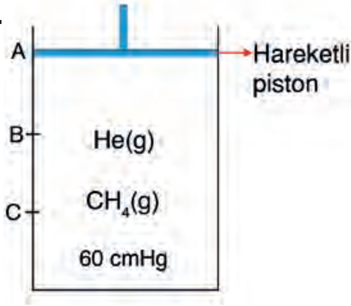
44.



H_2 gazı şekildeki borudan T sıcaklığında 12 saniyede geçmektedir. O_2 gazının aynı borudan 12 saniyede geçmesi için oksijen gazının sıcaklığı kaç T olması gerekir? (H:1, O:16)

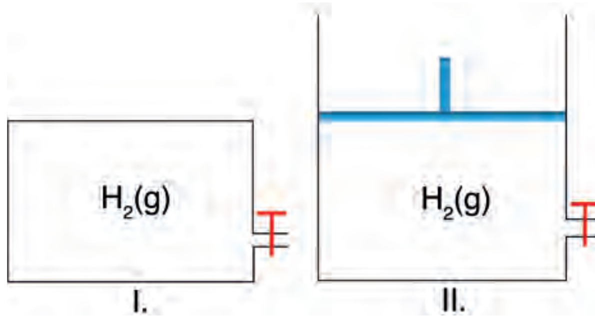
45. Normal koşullarda özkütlesi 0,48 g/L olan X gazının 273 °C ve 38 cmHg basınçta özkütlesi kaç g/L'dir?

46.



Yandaki hareketli pistonlu kapta eşit kütlede He ve CH_4 gazları bulunmaktadır. Buna göre sabit sıcaklıkta piston C noktasına getirilip sabitlendiğinde He ve CH_4 gazlarının kısmi basınçları kaç cmHg olur? (H:1, He:4, C: 12, bölmeler eşit aralıklıdır.)

47.

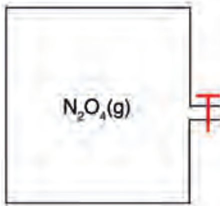


Normal koşullarda şekildeki kaplarda birer mol H_2 gazı vardır. Aynı koşullarda kapların içerisine birer mol CH_4 gazı ilave edildiğinde

a) I ve II. kaplardaki özkütle (d)-basınç (P) grafiklerini çiziniz.

b) I ve II. kaplardaki basınç hacim çarpımı (PV)-hacim (V) grafiklerini çiziniz.

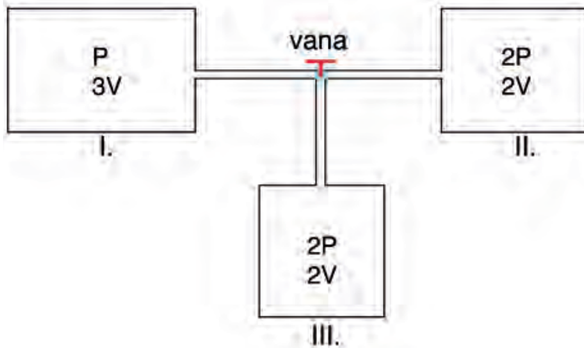
48.



Sabit hacimli bir kapta sıcaklığı 27 °C basıncı 3 atm olan 4 mol N_2O_4 gazı bulunuyor.

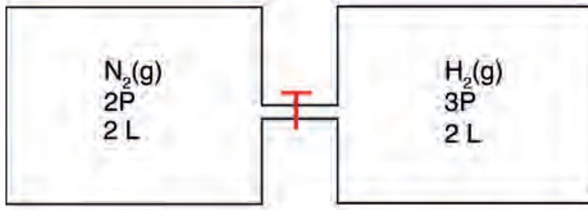
Bu gazın %25'i $N_2O_4(g) \rightarrow 2NO_2(g)$ tepkimesiyle NO_2 gazına ayrışıyor. Tepkime sonunda sıcaklık 127 °C olduğuna göre kaptaki toplam basınç kaç atm'dir?

49.



Şekildeki sistemde aynı sıcaklıktaki kaplar arasında bulunan vana açıldığında kaplardaki tanecik sayısı nasıl değişir? Nedenini açıklayınız.

50.

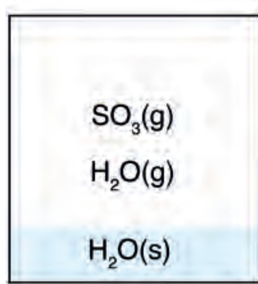


Yandaki kaplarda aynı sıcaklıkta N_2 ve H_2 gazları bulunmaktadır. Musluk açıldığında gazlar arasında $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$ tepkimesi tam verimli gerçekleşmektedir. Tepkime sonunda başlangıç sıcaklığına dönüldüğünde son basınç kaç P olur?

51. Karbon dioksit ve suyun faz diyagramlarını çizerek bu diyagramlar arasındaki farkları açıklayınız.

52. Gaz, buhar, kritik sıcaklık terimlerini açıklayınız.

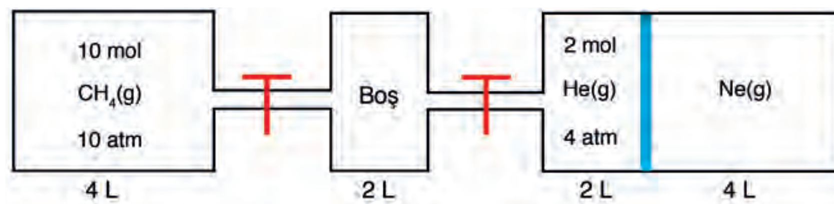
53.



Bir miktar SO_3 gazı yandaki gibi kapalı bir kapta 27 °C'de su üzerinde toplanıyor. Kaptaki toplam basınç 786,7 mmHg ve gazın hacmi 12,3 litre olduğuna göre kapta bulunan SO_3 gazının kütlesi kaç gramdır? (O:16, S:32, 27 °C'de suyun buhar basıncı 26,7 mmHg'dır.)

54. Soğutucu akışkan nedir? Soğutucu akışkanların genel özelliklerini yazınız.

55.



Şekildeki sistemde sabit sıcaklıkta musluklar açılarak sistem tekrar dengeye geliyor. Sistemde son durumda He gazının kısmi basıncı kaç atm olur?

D **Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları cevaplayınız.**

56. Gazlarla ilgili aşağıda verilen yargılardan hangisi yanlıştır?

A) Maddenin en düzensiz ve en yüksek enerjili hâli gaz hâlidir.

B) Gazlar yüksek sıcaklık ve düşük basınçta yoğunlaştırılabilir.

C) Gazlar titreşim, öteleme ve dönme hareketi yapar.

D) Gazların sıcaklığı arttırılır ve basıncı azaltılırsa ideale yaklaşır.

E) Aynı koşullarda molekül kütlesi küçük olan gazların difüzyon hızı büyüktür.

57. Aşağıdaki tabloda sıcaklıkları verilen gazların difüzyon hızları arasındaki ilişki aşağıdakilerden hangisinde doğru verilmiştir?

(H:1, He:4, N:14, C:12, O:16, S:32)

Difüzyon hızı	Sıcaklık (°C)	Gaz
V_1	25	SO_2
V_2	25	N_2
V_3	40	He
V_4	25	CH_4

A) $V_1 > V_2 > V_3 > V_4$

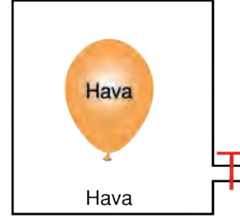
B) $V_3 > V_2 > V_4 > V_1$

C) $V_3 > V_4 > V_2 > V_1$

D) $V_1 > V_2 > V_4 > V_3$

E) $V_3 > V_4 > V_1 > V_2$

58.



Şekildeki kapta belirli bir sıcaklıkta bir miktar hava ve içi hava dolu ağzı kapalı ideal elastik balon vardır.

Buna göre balonun hacmini azaltmak için

I. Kap ısıtılmalı

II. Kaba aynı sıcaklıkta bir miktar daha hava eklenmeli

III. Kaptan bir miktar hava çıkartılmalı

IV. Kap soğutulmalı

işlemlerinden hangileri yapılmalıdır?

A) I, II, III ve IV B) I, II ve III C) II ve III

D) Yalnız II E) Yalnız III

59. Aşağıdaki sıcaklık ve basınç değerleri verilen gazlardan hangisi ideale en yakındır?

(H:1, He:4, C:12, O:16, S:32)

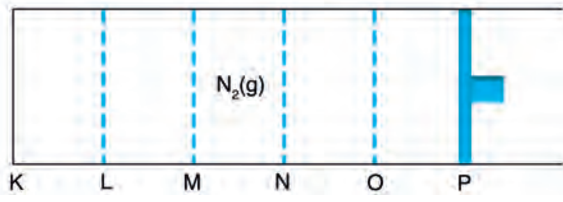
	Gaz	Sıcaklık (°C)	Basınç (atm)
A)	O_2	500	0,2
B)	He	500	0,1
C)	SO_2	400	2
D)	H_2	400	0,2
E)	CH_4	500	0,1

60. 2 litre hacimli bir kapta 27 °C sıcaklık ve 180 mmHg basınçta O_2 gazı bulunmaktadır. **Hacim iki katına çıkarılınca basıncın 270 mmHg olması için sıcaklığın kaç °C olması gerekir?**

A) 627 B) 400 C) 327

D) 273 E) 0

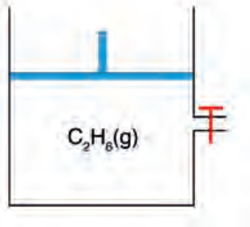
61. Şekildeki sürtünmesiz pistonlu kapta sıcaklığı 227 °C olan bir miktar N_2 gazı vardır.



Kap bir süre soğutulduğunda piston M noktasında durduğuna göre son sıcaklık kaçtır? (Bölmeler eşit aralıklıdır.)

A) 200 °C B) 473 K C) -73 °C D) 73 K E) -73 K

62.



Şekildeki kapta m gram C_2H_6 gazı vardır. Kaba aynı sıcaklıkta C_2H_6 gazıyla aynı sayıda atom içeren SO_3 gazı gönderiliyor.

(H:1, C:12, O:16, S:32)

Buna göre

I. Kap hacmi 3 katına çıkar.

II. Mol kesirleri arasında $\frac{X_{C_2H_6}}{X_{SO_3}} = \frac{1}{2}$ ilişkisi vardır.

III. Eklenen SO_3 gazının kütlesi $\frac{16m}{3}$ gramdır.

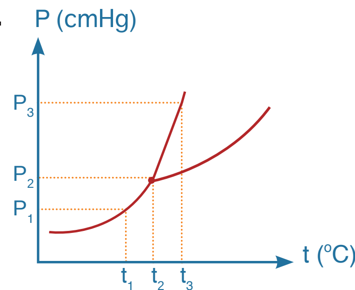
yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) I ve II C) II ve III D) I ve III E) I, II ve III

63. Sabit hacimli bir kapta 27 °C sıcaklıkta eşit mol sayısında C_3H_8 ve O_2 gazları vardır. Tam verimle gerçekleşen tepkime sonunda CO_2 ve H_2O oluşurken sıcaklık 127 °C olmaktadır. **Buna göre ilk basıncın son basınca oranı kaçtır?**

A) $\frac{10}{22}$ B) $\frac{15}{44}$ C) $\frac{15}{22}$ D) $\frac{22}{10}$ E) $\frac{22}{15}$

64.



A maddesinin sıcaklık ve basınca bağlı olarak gerçekleşen hâl değişimine ait diyagram üstte verilmiştir.

Buna göre aşağıda verilen yargılardan hangisi <u>yanlıştır</u>?

A) P_1 basıncında, sıcaklık t_1'den itibaren attırılırsa madde süblimleşir.

B) t_3 sıcaklığında, basınç P_3'ten itibaren azaltılırsa madde sıvı hâldedir.

C) P_2 basıncında ve t_2 sıcaklığında maddenin üç fiziksel hâli bir arada bulunur.

D) X maddesi su olabilir.

E) P_2 basıncında, sıcaklık t_1 iken madde katı hâldedir.

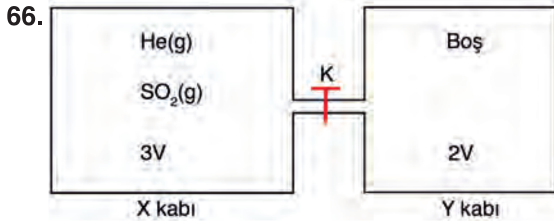
65. 30 L hacmi olan kapalı bir kapta bulunan H_2S gazının basıncı 300 K sıcaklıkta 0,82 atm ölçülmüştür.

$2H_2S(g) + 3O_2(g) \rightarrow 2SO_2(g) + 2H_2O(g)$

Yukarıdaki tepkimeye göre H_2S gazını tamamen tüketmek için normal koşullar altında kaç L O_2 gazı gerekir? (R = 0,082 atm L/mol K, gazların ideal davrandığı varsayılacaktır.)

A) 67,2 B) 44,8 C) 33,6 D) 22,4 E) 11,2

66.



Şekildeki 3V hacimli X kabında mol sayıları eşit olan He ve SO_2 gazları bulunmaktadır. Toplam basınç 4 atm'dir. Kaplar arasındaki musluk sabit sıcaklıkta kısa bir süre açılıp kapatıldığında He atomlarının %60'ı Y kabına geçtiği anda musluk kapatılıyor.

Buna göre kaplardaki basınç değerleri hangi seçenekte doğru verilmiştir?

(He:4, O:16, S:32)

	P_X(atm)	P_Y(atm)
A)	2,5	1,5
B)	1,5	2,5
C)	2	2
D)	2,5	2,25
E)	2,25	2,5

67. Sabit sıcaklık ve hacimdeki kapalı bir kapta 4 g He, 16 g O_2 ve 64 g SO_2 den oluşan gaz karışımı bulunmaktadır.

Bu gazların ideal gibi davrandığı varsayıldığında

I. He ile SO_2 gazlarının kısmi basınçları eşittir.

II. He'nin kısmi basıncı O_2'nin kısmi basıncından küçüktür.

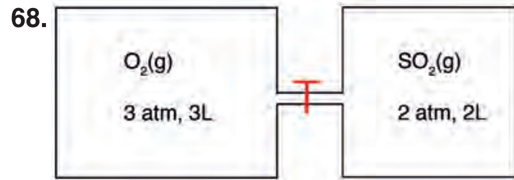
III. O_2'nin kütlesi 2 katına çıkartıldığında karışımın toplam basıncı He'nin kısmi basıncının 3 katı olur.

yargılarından hangileri doğrudur?

(He:4 g/mol, O:16 g/mol, S:32 g/mol)

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve III E) II ve III

68.



Şekildeki sistemde sabit sıcaklıkta musluk açılarak aynı sıcaklıkta gazlar arasında tam verimle, $2SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g)$ tepkimesi gerçekleşiyor.

Başlangıç sıcaklığına dönüldüğünde kaptaki gaz basıncı kaç atm olur?

A) 0,18 B) 0,8 C) 1,2 D) 1,6 E) 2,2

69. Sabit hacimli bir kapta bulunan 25 °C'deki H_2 gazının sıcaklığı 50 °C'ye çıkarılıyor.

Buna göre H_2 gazı için

I. Moleküllerin ortalama kinetik enerjisi artar.

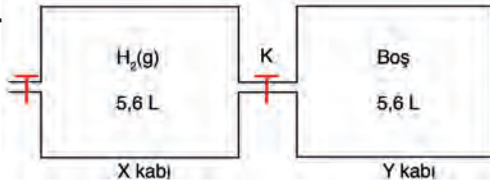
II. Yoğunluk değişmez.

III. Basınç iki katına çıkar.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II D) I ve III E) I, II ve III

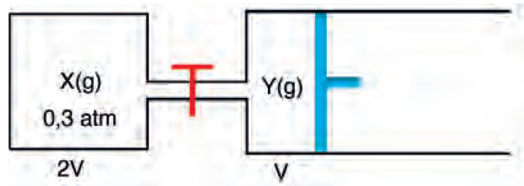
70.



5,6 litrelik X kabında 0 °C sıcaklıkta 1 gram H_2 gazı bulunmaktadır. X kabına 2 gram He gazı eklendikten sonra K musluğu açılarak sıcaklık 273 °C'ye çıkarılıyor. **Kaptaki son basınç kaç atm olur?** (H:1, He:4)

A) 4
B) 3
C) 2,5
D) 2
E) 1,6

71.

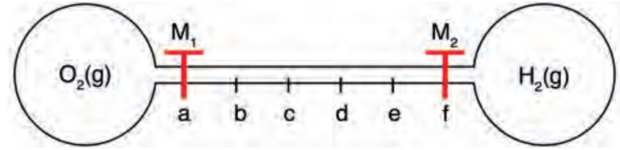


Açık hava basıncının 1 atm olduğu ortamda şekildeki kaplar arasındaki musluk sabit sıcaklıkta açılıyor.

Gazlar arasında reaksiyon gerçekleşmediği bilindiğine göre sistemin son basıncı kaç atm olur?

A) 0,6
B) 0,8
C) 1
D) 1,3
E) 1,5

72.

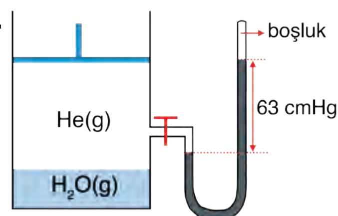


Belli bir uzunluktaki boş bir cam borunun uçlarında bulunan cam balonlarda, aynı sıcaklık ve basınçta O_2 ve H_2 gazları bulunmaktadır. M_1 ve M_2 muslukları aynı anda açıldığı zaman, gazlar cam boruya doğru hareket etmektedir.

Buna göre gazlar, cam boruda eşit aralıklarla işaretlenmiş olan; a, b, c, d, e noktalarından hangisinde karşılaşır? (Gazların ideal davrandığı düşünülecektir. H_2 = 2 g/mol, O_2 = 32 g/mol)

A) a
B) b
C) c
D) d
E) e

73.



Şekildeki kapta t °C sıcaklıkta piston aşağı itilerek gaz hacmi yarıya indirilirse kaptaki son basınç kaç cmHg olur?

(t °C sıcaklıkta suyun buhar basıncı 30 mmHg'dır, He gazının sudaki çözünürlüğü ve sıvı hacmindeki artış ihmal edilecektir.)

A) 126
B) 125
C) 124
D) 123
E) 93

74. Kapalı, sabit hacimli bir kapta eşit kütlelerde He, CH_4 ve SO_3 gazları bulunmaktadır. **CH_4 gazının kısmi basıncı 2,5 atm olduğuna göre kaptaki toplam basınç kaç atm'dir?** (H:1, He:4, C:12, O:16, S:32)

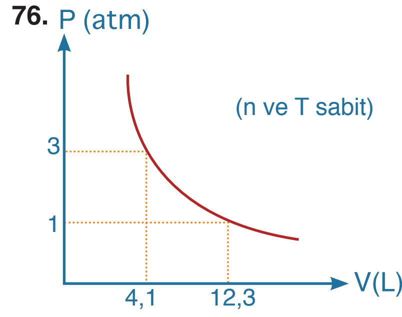
A) 6,5 B) 13 C) 21 D) 26 E) 30

75. Alttaki tabloda kritik sıcaklıkları ve kaynama noktaları verilen gazlardan hangileri soğutucu akışkan olarak kullanılabilir?

Gazlar	Kritik Sıcaklık (°C)	Kaynama Noktası (°C)
NH_3	132,4	-33,34
Br_2	311	58,3
CO_2	31,2	-78
CH_4	-83	-164

A) NH_3, CO_2, CH_4
B) NH_3, CO_2, Br_2
C) NH_3, CH_4
D) NH_3, CO_2
E) Br_2

76.

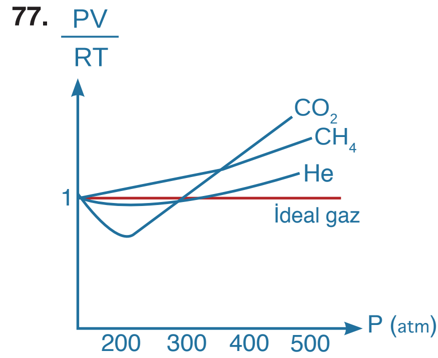


32 gram X gazının 27 °C'deki basınç hacim grafiği verilmiştir.

Bu gazın bir tane molekülünün gerçek kütlesi kaç gramdır? (Avogadro sayısı: N_A)

A) 32 B) $\frac{32}{N_A}$ C) $32N_A$ D) 64 E) $\frac{64}{N_A}$

77.



Üstteki grafikte farklı gazların sabit sıcaklıkta P-PV/RT oranlarının değişimi verilmiştir.

Buna göre

I. CO_2 gazının ideallikten sapma miktarı diğerlerinden daha fazladır.

II. İdeale en yakın He gazıdır.

III. Basınç arttıkça He gazı ideallikten uzaklaşır.

IV. Gerçek gazlar her koşulda PV/RT=1 eşitliğini sağlar.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) I, II, III ve IV B) I, II ve III C) I, II ve IV D) I ve II E) II ve IV

78. Aşağıdaki ifadelerden hangisi yanlıştır?

A) Boyle-Mariotte Kanunu'na göre sabit sıcaklıkta belli bir gazın basıncı, hacmiyle ters orantılıdır.

B) Charles Kanunu'na göre sabit basınçta gaz hacmi mutlak sıcaklıkla doğru orantılıdır.

C) Gay-Lussac Yasası'na göre, sabit sıcaklıkta belli bir miktar gazın basıncı ile mol sayısı doğru orantılıdır.

D) Gerçek gazların ideallikten sapması gazın cinsi, basınç ve sıcaklık gibi nedenlere bağlıdır.

E) Avogadro Yasası'na göre, aynı koşullarda bulunan gazların mol sayıları ile hacimleri doğru orantılıdır.

79.

- Ölçülen basınçları, ideal gaz denklemiyle hesaplanan basınçtan daha düşüktür.
- Tanecikler arası itme-çekme kuvvetleri yoktur.
- Gaz taneciklerinin öz hacimleri, toplam hacim yanında ihmal edilebilir.
- Ölçülen hacimleri, ideal gaz denklemiyle hesaplanan hacimden daha büyüktür.
- Kinetik teorinin varsayımlarına uyar.

Gerçek gazlarla ilgili yukarıdaki ifadelerden kaç tanesi doğrudur?

A) 1 B) 2 C) 3 D) 4 E) 5

80. Soğutucularda kullanılan gazlara ilişkin

I. Kritik sıcaklığı yüksek, kaynama sıcaklığı düşük olmalıdır.

II. Oda koşullarında buhar hâlinde olmalıdır.

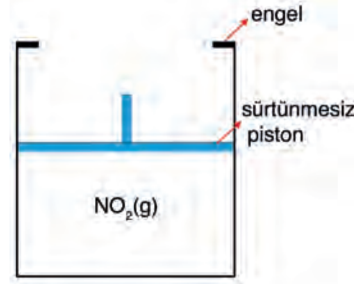
III. Kimyasal yönden aktif olmamalıdır.

IV. Tanecikler arası etkileşimi güçlü olmalıdır.

yargılarından hangileri doğrudur?

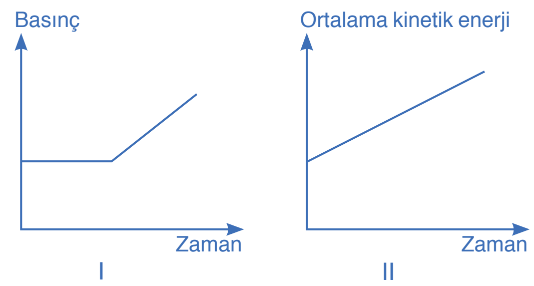
A) I, II, III ve IV B) I, II ve IV C) I, II ve III D) II, III ve IV E) I ve III

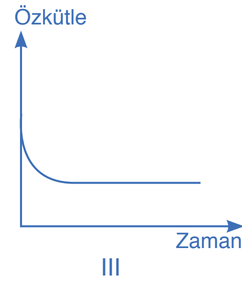
81.



Şekildeki pistonlu kapta bulunan NO_2 gazının sıcaklığı arttırılıyor.

Bu olayla ilgili çizilen aşağıdaki grafiklerden hangileri doğrudur?



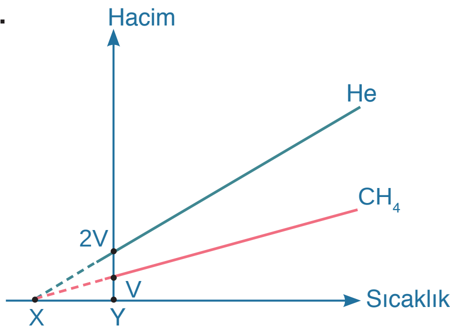


A) I, II ve III B) I ve II C) I ve III D) Yalnız I E) Yalnız II

82. H_2 gazının 0 °C ve 5,6 atm basınç altında yoğunluğu kaç g/L olur? (H:1)

A) 1 B) 0,8 C) 0,7 D) 0,5 E) 0,2

83.



Aynı basınçta iki ayrı kapta bulunan He ve CH_4 gazlarının hacim-sıcaklık grafikleri yukarıda verilmiştir.

Buna göre

I. X noktası mutlak sıfır noktasıdır.

II. Kaplardaki He ve CH_4 gazları eşit kütlelidir.

III. Y noktasında gazların birim zamanda birim yüzeye yaptıkları çarpma sayıları eşittir.

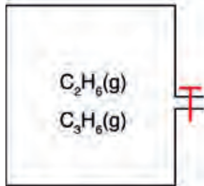
yargılarından hangileri doğrudur?

(H:1, He:4, C:12)

A) I, II ve III B) I ve II C) I ve III

D) Yalnız I E) Yalnız II

84.



Şekildeki kapta bulunan C_2H_6 ve C_3H_6 gazlarının kütleleri eşittir.

Bu gazlarla ilgili aşağıdaki seçeneklerden hangisi doğrudur? (H:1, C:12)

A) C_2H_6 ve C_3H_6 gaz moleküllerinin ortalama difüzyon hızları eşittir.

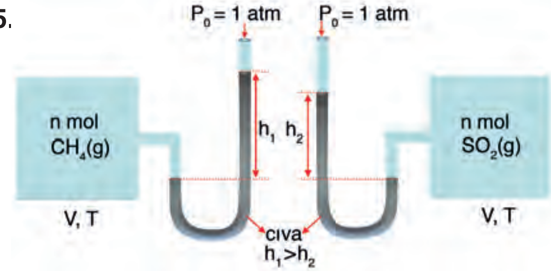
B) C_2H_6 ve C_3H_6 gazlarının molekül sayıları aynıdır.

C) C_2H_6 ve C_3H_6 gazlarının içerdikleri hidrojen kütleleri eşittir.

D) C_2H_6 gazının kısmi basıncı C_3H_6 gazının kısmi basıncından büyüktür.

E) C_2H_6 ve C_3H_6 gazlarının ortalama kinetik enerjileri farklıdır.

85.



Aynı ortamda bulunan özdeş manometrelerde aynı sıcaklıkta, eşit mol sayısında CH_4 ve SO_2 gazlarının yaptığı basınç ölçülmüştür.

Yapılan bu ölçüm ve sonuçları için aşağıdaki ifadelerden hangisi doğrudur? (CH_4:16, SO_2:64)

A) Cıva seviyelerindeki farklılığın sebebi Joule-Thomson olayıdır.

B) $h_1 > h_2$ olmasının sebebi CH_4 bileşiğinin moleküller arası kuvvetinin daha fazla olmasıdır.

C) CH_4 gazının basıncının SO_2 gazının basıncından büyük olmasının sebebi SO_2 gazının gerçek gaz davranışına daha yakın olmasıdır.

D) CH_4 gazının basıncının SO_2 gazının basıncından büyük olmasının nedeni CH_4 molekülleri arasında hidrojen bağı olmasıdır.

E) CH_4 ve SO_2 gazları ideal gaz davranışı gösterir.

86. İçinde helyum gazı bulunan sabit hacimli bir kap ısıtılıyor. **Buna göre ısıtma süresince kaptaki helyum gazı için aşağıdaki seçeneklerden hangisi yanlış olur?**

A) Atom sayısı artar.

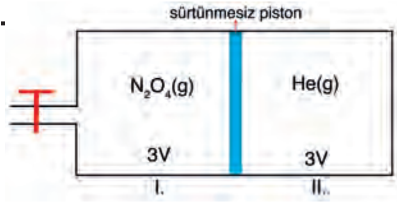
B) Özkütlesi değişmez.

C) Kütlesi değişmez.

D) Ortalama kinetik enerjisi artar.

E) Basınç artar.

87.



Yukarıdaki pistonlu kapta sabit sıcaklıkta N_2O_4 ve He gazları bulunmaktadır.

Musluktan sabit sıcaklıkta bir miktar H_2 gazı eklenirse

I. He gazının basıncı artar.

II. N_2O_4 gazının özkütlesi artar.

III. Kaptaki toplam basınç artar.

yukarıdaki ifadelerden hangisi doğru olur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

88. Aşağıda koşulları belirtilen gazların mol sayıları arasındaki ilişki aşağıdaki seçeneklerin hangisinde doğru verilmiştir?

- 0 °C ve 2 atm'de 11,2 litre H_2 gazı
- Normal koşullarda 22,4 litre He gazı
- 273 °C ve 1 atm'de 22,4 litre CH_4 gazı

A) He > H_2 > CH_4

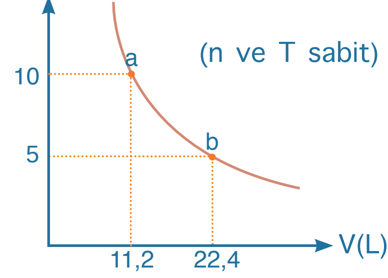
B) He > H_2 = CH_4

C) He = H_2 > CH_4

D) CH_4 > He = H_2

E) He = CH_4 > H_2

89.



Normal koşullarda bulunan bir miktar X gazı için yoğunluk-hacim grafiğine göre aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?

A) X gazının mol kütlesi 112 g/mol'dür.

B) a ve b noktalarında X gazının ortalama kinetik enerjisi aynıdır.

C) a noktasında 0,5 mol X gazı vardır.

D) b noktasında X gazının basıncı 1 atm'dir.

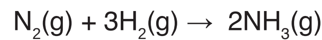
E) a ve b noktalarında X gazının basınç hacim (PV) çarpımları farklıdır.

90. Sabit hacimli kapalı bir kapta 0 °C'de 4 mol N_2 ve 6 mol H_2 gazı

$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$

denklemine göre tam verimle tepkimeye giriyor. Tepkime tamamlandıktan sonra sıcaklık 273 °C'ye çıkarılıyor. **Buna göre son basıncın ilk basınca oranı kaçtır?**

A) $\frac{3}{5}$ B) $\frac{8}{5}$ C) $\frac{5}{3}$



D) $\frac{5}{6}$ E) $\frac{6}{5}$

3 ÜNİTE

SIVI ÇÖZELTİLER VE ÇÖZÜNÜRLÜK

ANAHTAR KAVRAMLAR

- Çözünürlük
- Dipol-dipol etkileşimleri
- Dipol-indüklenmiş dipol etkileşimleri
- Hidrojen bağı
- İndüklenmiş dipol-indüklenmiş dipol etkileşimleri
- İyon-dipol etkileşimleri
- İyon-indüklenmiş dipol etkileşimleri
- Molalite
- Molarite

İÇERİK

- Kimyasal türler arası etkileşimleri kullanarak sıvı ortamda çözünme olayının açıklanması
- Çözünen madde miktarı ile farklı derişim birimlerinin ilişkisi
- Farklı derişimlerde çözelti hazırlanması
- Çözeltilerin koligatif özellikleri ile derişimleri arasındaki ilişki
- Çözeltilerin çözünürlük kavramı temelinde sınıflandırılması
- Çözünürlüğün sıcaklık ve basınçla ilişkisi

ÜNİTE BÖLÜMLERİ

1. BÖLÜM

ÇÖZÜCÜ ÇÖZÜNEN ETKİLEŞİMLERİ

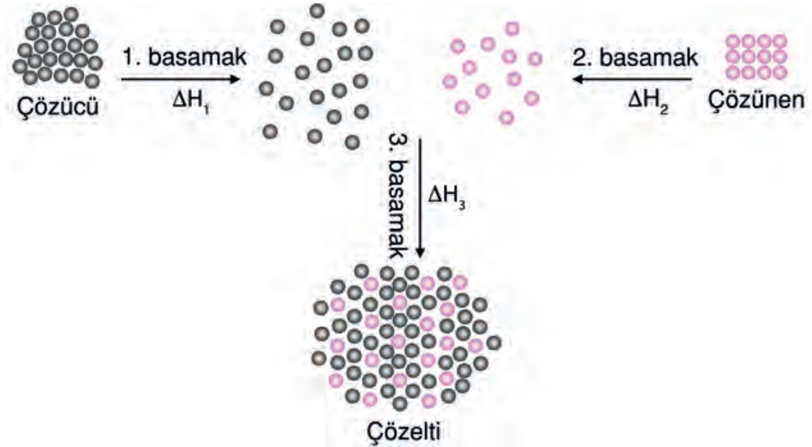
- *Maddeler karıştırılarak çözelti oluşturulduğunda çözücü ve çözünen arasında nasıl bir etkileşim olur?*
- *Çözeltilerdeki çözücü ve çözünen etkileşimleri ve maddelerin birbiri içinde çözünüp çözünmemesi nelere bağlıdır?*

3.1.1. Sıvı Ortamda Çözünme Olayı

Saf katı, sıvı ve gazlar arasında gerçekleşen kimyasal tepkimeler azdır. Kimyasal tepkimelerin çoğu suda veya diğer çözücülerde çözünmüş iyonlar ve moleküller arasında gerçekleşir. İki veya daha fazla maddenin birbiri içinde homojen olarak karışmasıyla oluşan maddelere **çözelti** denir. Çözelti bileşenlerinin katı, sıvı ya da gaz olmasına bağlı olarak altı tane çözelti türü oluşturulabilir. Bu ünitede en az bir sıvı bileşen içeren çözeltiler yani sıvı-gaz, sıvı-sıvı, sıvı-katı çözeltiler üzerinde durulacaktır. İncelenecek çözeltilerin birçoğunda sıvı çözücü olarak su yer alacaktır.

Sıvı ve katılarda; moleküller, tanecikler arası çekim kuvvetleri ile bir arada tutulur. Bu kuvvetler aynı zamanda çözeltilerin oluşumunda da temel rol oynar. Çözeltilerde çözünen tanecikleri çözücünün her yerine homojen olarak dağılır. Çözünen tanecikler, çözücü moleküllerin arasına girer. Çözeltiler oluşurken çözücü ve çözünen tanecikler arasında üç tür etkileşim gerçekleşir (Görsel 3.1). Bu etkileşimler

- Çözücü–çözücü etkileşimi
- Çözünen–çözünen etkileşimi
- Çözücü–çözünen etkileşimidir.



Görsel 3.1: *Çözünme olayı sırasındaki etkileşimler*

İki tanecik arasında etkileşim oluşurken ısı açığa çıkar. Taneciklerin birbirinden ayrılması için ısı gerekir. Görsel 3.1'deki çözünme süreci birinci basamak çözücü moleküllerinin, ikinci basamak çözünen moleküllerin birbirinden ayrılması olayıdır. Bu basamaklar moleküller arası çekim kuvvetini yenmek için bir miktar enerji gerektirir. Bu nedenle birinci ve ikinci basamaklar endotermik (ısı alan) olaylardır.

Üçüncü basamakta çözücü ve çözünen moleküller karışır. Bu basamak ekzotermik (ısı veren) olaydır. Bu basamaklardaki ısıların toplamı çözelti ısısına ($\Delta H_{çözelti}$) eşittir. Çözelti ısısı

$\Delta H_{çözelti} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$ şeklinde hesaplanır.

Çözeltilerde, çözünen–çözücü etkileşimi (ΔH_3), çözünen–çözünen (ΔH_2) ve çözücü–çözücü (ΔH_1) etkileşiminden kuvvetli ise çözünme olayı ekzotermik olarak gerçekleşir ve $\Delta H_{çözelti}$ değeri negatiftir. Çözünen–çözücü etkileşimi, çözünen–çözünen ve çözücü–çözücü etkileşimlerinden daha zayıf ise çözünme olayı endotermiktir ve $\Delta H_{çözelti}$ değeri pozitif bir değerdir.

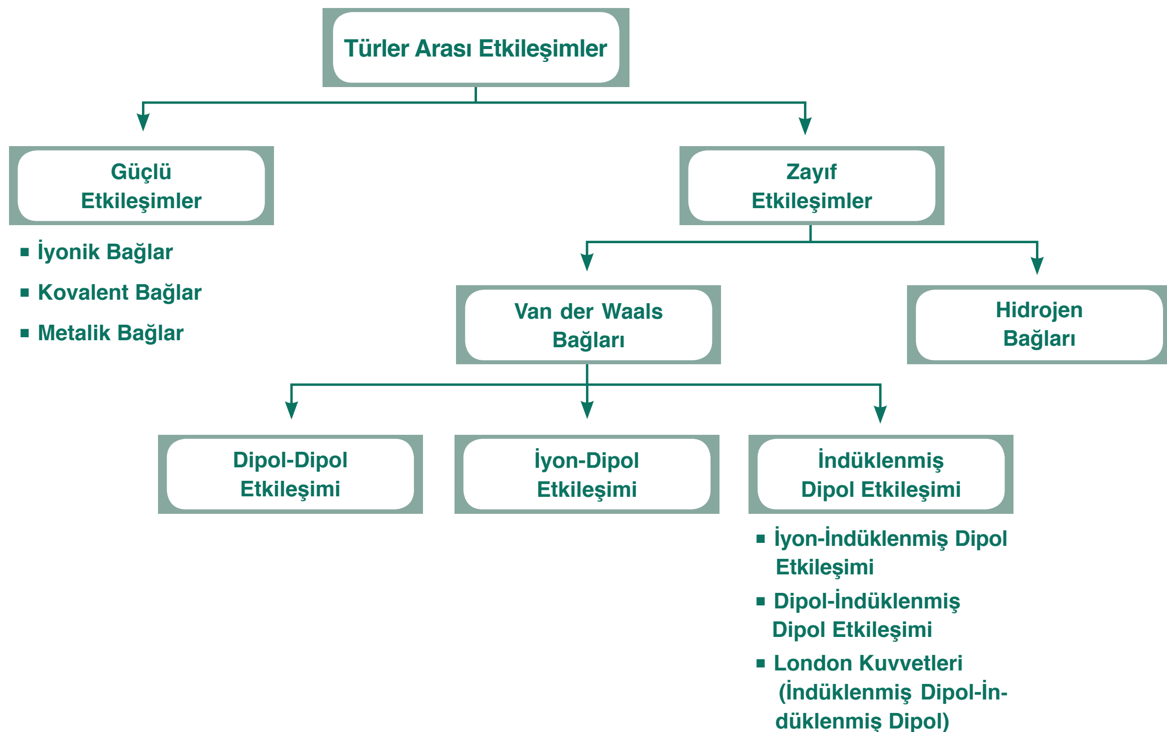
Çözücüsü sıvı, çözüneni katı olan çözeltilerde çözünme olayı ekzotermik ($\Delta H_{çözelti} < 0$) ise çözünme kendiliğinden gerçekleşir. Çözünme olayı endotermik ($\Delta H_{çözelti} > 0$) ise çözünme olayının gerçekleşebilmesi için sistemin dışarıdan ısı alması gerekir.

Bir maddenin bir çözücü içerisinde çözünüp çözünmediğini tanecikler arası çekim kuvvetleri belirler. Maddeler bir araya geldiğinde türler arasında farklı etkileşimler oluşur. Bu etkileşimler maddelerin türlerine bağlıdır. Yapı olarak benzer maddeler birbiri içinde çözünebilir. Buna göre polar maddeler polar çözücülerde, apolar maddeler apolar çözücülerde iyi çözünür. Apolar bir maddenin polar bir çözücüde iyi çözünmesi beklenmez.

Maddelerin birbiri içinde çözünmesi türler arası zayıf etkileşimlere bağlıdır. Çözünme olayında güçlü etkileşimlerde bir değişme olmaz. Çözünme sürecinde çözücü ve çözünen arasında hidrojen bağları, dipol-dipol etkileşimleri, iyon-dipol etkileşimleri, iyon-indüklenmiş dipol etkileşimleri, dipol-indüklenmiş dipol etkileşimleri, indüklenmiş dipol-indüklenmiş dipol etkileşimleri (London kuvvetleri) oluşabilir. Türler arası etkileşim sınıflandırması aşağıdaki gibidir.

Bilgi Kutusu

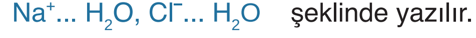
İyonik katıların büyük çoğunluğu suda endotermik olarak çözünür. Endotermik olarak çözünen iyonik katıların sıcaklık arttıkça çözünürlüğü artar.



İyonik yapılı bileşikler, suda çözünürken (+) ve (–) yüklü iyonlar oluşur. Bu iyonlar polar su molekülünün kısmi pozitif ve negatif kısımlarıyla etkileşir. Pozitif yüklü iyonlar suyun negatif kısmı, negatif yüklü iyonlar ise suyun pozitif kısmı ile etkileşerek iyon-dipol etkileşimini oluşturur. Çözeltide su ile (+) ve (–) yüklü iyonlar arasında çok sayıda iyon-dipol etkileşimi oluşarak iyonik katının suda çözünmesi gerçekleşir. Örneğin NaCl iyonik bileşiğinin suda çözünme denklemi

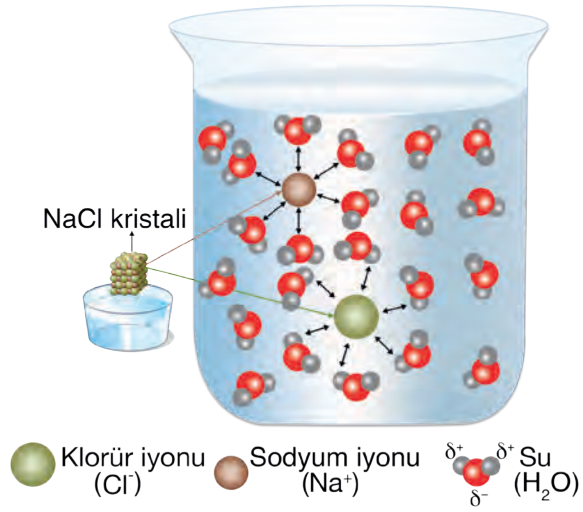
$NaCl(k) \rightarrow Na^+(suda) + Cl^-(suda)$ şeklindedir.

Oluşan Na^+ ve Cl^- iyonlarının su ile oluşturduğu iyon-dipol etkileşimleri



$Na^+ ... H_2O$, $Cl^- ... H_2O$ şeklinde yazılır.

Bu iyon-dipol etkileşimleri Görsel 3.2'de gösterilmiştir.

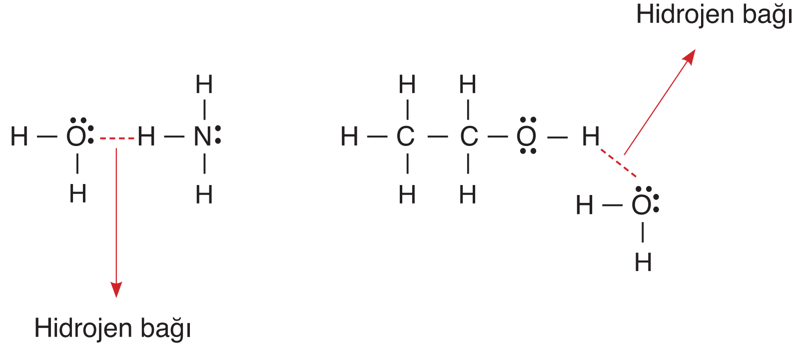


Görsel 3.2: *NaCl iyonik katısının suda çözünme sürecinde oluşan iyon-dipol etkileşimi*

Polar moleküller arasında gerçekleşen çözünme sürecinde, çözücü ve çözünen tanecikler arasında dipol-dipol etkileşimleri meydana gelir. HCl, H_2S, HBr, NF_3, NCl_3, $CHCl_3$ gibi moleküler yapılı bileşikler polardır. Bu bileşikler, polar su molekülü ile dipol-dipol etkileşimi oluşturarak suda çözünür.

Elektronegatifliği en yüksek elementlerden F, O ve N'un hidrojenli bileşiklerinde hidrojen bağı oluşur. HF, NH_3, H_2O, CH_3OH, C_2H_5OH, CH_3COOH, CH_3NH_2, $C_6H_{12}O_6$ gibi moleküller; kendi aralarında ve birbirleri arasında hidrojen bağları, dipol-dipol etkileşimleri ve indüklenmiş dipol-indüklenmiş dipol etkileşimleri oluşturur. Bu etkileşimlerden en etkili olanı hidrojen bağı olduğu için özellikle hidrojen bağı içeren moleküllerin su ile etkileşiminde öncelikle hidrojen bağları belirtilir.

HF – H_2O, NH_3 – H_2O, C_2H_5OH – H_2O vb. molekülleri arasında etkin etkileşim türü hidrojen bağlarıdır (Görsel 3.3).



Görsel 3.3: *NH_3 – H_2O, C_2H_5OH – H_2O molekülleri arasındaki hidrojen bağları*

Bilgi Kutusu

Etil alkol ve su karıştırıldığında aralarında hidrojen bağı oluşur. Bu nedenle etil alkol suda çok iyi çözünür.

Bilgi Kutusu

CH_4, C_2H_6, C_3H_8, C_6H_6 gibi sadece karbon ve hidrojen elementlerinden oluşan bileşikler apolardır.

Aralarında hidrojen bağı oluşan bileşikler birbiri içinde iyi çözünür. Çözünme sürecinde taneciklerin etkileşim güçleri birbirine yakınsa oluşan çözeltilere **ideal çözelti** denir. Çözücü ve çözünen taneciklerin etkileşim güçleri farklı ise bu tür çözeltilere **ideal olmayan çözelti** denir.

Apolar moleküllerde ve soy gaz atomları arasında katı ve sıvı fazda sadece indüklenmiş dipol–indüklenmiş dipol etkileşimleri (London kuvvetleri) oluşur. H_2, Cl_2, F_2, I_2, CH_4, CO_2, CCl_4, C_4H_{10}, C_6H_6, He, Ne, Ar vb. apolar molekül ve atomlardır. I_2(k) ile CCl_4(s) karıştırılınca aralarında indüklenmiş dipol–indüklenmiş dipol etkileşimleri kurulur ve bu sebeple iyot katısı karbon tetraklorür sıvısında iyi çözünür. Apolar maddelerin birbiri içinde çözünmesi ile oluşan çözeltilerde etkileşimler aynı olduğu için bu etkileşimlerin güçleri de birbirine yakındır. Bu şekilde oluşan çözeltiler ideal çözeltidir. Örneğin H_2 – CCl_4, C_6H_6 – CCl_4 ve CO_2 – CCl_4 apolar molekülleri arasında indüklenmiş dipol-indüklenmiş dipol etkileşimleri ile çözünme olayı gerçekleşir.

Polar bir molekülle apolar bir molekül veya atom arasında oluşan etkileşimler, dipol-indüklenmiş dipol etkileşimleridir. Apolar bir molekülün polar bir molekülde az da olsa çözünmesinin nedeni dipol-indüklenmiş dipol etkileşimleridir. Dipol ve indüklenmiş dipollerin etkileşim güçleri birbirinden farklı olduğu için oluşan çözeltiler ideal bir çözelti örneği değildir. Örneğin apolar bir molekül olan O_2 polar bir molekül olan H_2O'un içinde dipol-indüklenmiş dipol etkileşimi oluşturarak az bir şekilde çözünür. Bu az miktarda çözünmüş oksijen gazı suda yaşayan canlıların yaşam kaynağıdır (Görsel 3.4).

Görsel 3.4: *Suda çözünmüş oksijen ile solunum yapan balık*

I_2(k), CCl_4(s) ve C_6H_6(s) apolar molekülleri ile su arasında (I_2 – H_2O, CCl_4 – H_2O, C_6H_6 – H_2O) dipol-indüklenmiş dipol etkileşimi oluşur. Bu etkileşimlerin kuvveti düşük olduğundan I_2(k), CCl_4(s) ve C_6H_6(s) apolar molekülleri polar molekül olan suda çok az çözünür. Benzer benzeri çözer ilkesine göre apolar maddelerin polar maddelerde çözünmediği kabul edilir.

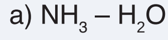
Bilgi Kutusu

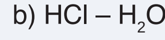
Aralarında etkileşim güçleri farklı olan türler birbiri içerisinde çok az çözünür. Genelde bu çözülmeler ihmal edilir.

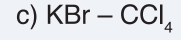
İyonik bir bileşikle apolar molekül veya soy gaz atomları arası etkileşimler, iyon-indüklenmiş dipol etkileşimleridir. İyonik bir bileşiğin polar olmayan bir çözücüde çözünmesi olayı bu etkileşimlerden ileri gelir. İyon-indüklenmiş dipol etkileşimlerinin kuvveti çok zayıf olduğu için iyonik bileşikler apolar çözücülerde çok az çözünür. Bu etkileşimler genelde yok kabul edilir. NaCl iyonik bileşiğinin apolar moleküller olan karbon tetraklorür (CCl_4) ve benzen (C_6H_6) gibi apolar çözücülerde çözünürlüğü, tartım yapılamayacak kadar düşüktür. NaCl – CCl_4 arası zayıf etkileşim iyon-indüklenmiş dipol etkileşimidir. Bu etkileşimler Na^+ – CCl_4 ve Cl^- – CCl_4 şeklinde gösterilir.

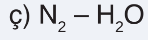
Örnek

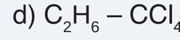
Aşağıda verilen maddeler arasındaki etkin etkileşim türünü yazınız.

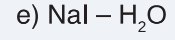

a) NH_3 – H_2O


b) HCl – H_2O


c) KBr – CCl_4


ç) N_2 – H_2O


d) C_2H_6 – CCl_4


e) NaI – H_2O

Çözüm

Çözeltilerde çözücü ve çözünen arasındaki etkileşimin belirlenebilmesi için öncelikle maddelerin polarlığı bilinmelidir. Ayrıca verilen maddelerin hidrojen bağı içerip içermediği ve bileşiğin iyonik ya da moleküler yapıda olduğu tespit edilmelidir. Buna göre

NH_3 : Polar molekül, hidrojen bağı oluşturur.
H_2O: Polar molekül, hidrojen bağı oluşturur.
HCl : Polar molekül
KBr : İyonik bileşik
CCl_4: Apolar molekül
N_2 : Apolar molekül
C_2H_6: Apolar molekül
NaI : İyonik bileşik

a) NH_3 – H_2O : Hidrojen bağı
b) HCl – H_2O : Dipol–dipol etkileşimi
c) KBr – CCl_4 : İyon–indüklenmiş dipol etkileşimi
ç) N_2 – H_2O : İndüklenmiş dipol–dipol etkileşimi
d) C_2H_6 – CCl_4 : İndüklenmiş dipol–indüklenmiş dipol etkileşimi
e) NaI – H_2O : İyon–dipol etkileşimi

3.1. Alıştırma

Aşağıda verilen maddelerin, karşılarında verilen çözücülerde iyi çözünüp çözünmediğini sebebiyle açıklayınız.

Madde	Çözücü
I_2	H_2O
I_2	CCl_4
KCl	C_6H_6
NaF	H_2O
CH_3OH	H_2O
CH_3OH	CCl_4

3.2. Alıştırma

Aşağıda verilen maddelerin belirtilen özelliklerini bulunuz ve bu özellikleri tablodaki uygun yere yazınız. ($_1H$, $_5B$, $_6C$, $_7N$, $_8O$, $_{16}S$, $_{17}Cl$)

	Cl_2	CO_2	N_2	H_2S	BH_3	C_2H_5OH
Molekülün polarlığı veya apolarlığı						
Suda çözünüp çözünmediği						
Molekülleri arası etkileşim türü						
Su molekülleri ile oluşturacağı etkileşim türü						

Bilişim teknolojilerinden yararlanılarak (animasyon, simülasyon, video vb.) çözünme olayının açıklamasını yapınız. İlgili görsellere Millî Eğitim Bakanlığı Eğitim Bilişim Ağı **www.eba.gov.tr** adresinden ulaşılabilir.

2. BÖLÜM

DERİŞİM BİRİMLERİ

- *Çözeltilerde çözünen madde miktarı nasıl tarif edilir?*
- *Çözünen madde miktarını bulmak için hangi ifadeler kullanılır?*
- *Çözeltilerde neden farklı derişim birimleri kullanılır?*
- *Çözelti derişim birimleri günlük yaşamın hangi alanlarında bulunur?*

3.2.1. Çözünen Madde Miktarı ile Farklı Derişim Birimlerinin İlişkisi

Belli bir miktar çözelti veya çözücüde çözünmüş olan madde miktarına **derişim (konsantrasyon)** denir. Laboratuvar çalışmalarında çözeltiler için hangi derişim biriminin seçileceği yapılacak çalışmanın amacına bağlıdır. Farklı çözeltiler hazırlanırken çözücü ve çözünenin türü, çözelti derişiminin sıcaklıkla değişmesi gibi faktörler dikkate alınarak farklı derişim birimleri kullanılabilir. Çözeltilerde çözünen miktarını ifade eden ve yaygın kullanılan derişim türleri kütlece yüzde derişim, hacimce yüzde derişim, mol kesri, ppm, molarite ve molalitedir.

Kütlece yüzde derişim, endüstride ve laboratuvarda sıvı-katı çözeltilerin hazırlanmasında kullanılır. Sıvı hacimleri kolaylıkla ölçülemediğinden bazı çözeltiler hacim yüzdesi temel alınarak hazırlanır. Özellikle gaz çözeltilerde; bileşenlerden birinin mol sayısının çözeltiyi oluşturan bileşenlerin mol sayısına oranı olan mol kesri kullanılır. Çözücü veya çözeltilerde çok az miktarda çözünen madde içeren çözeltilerin derişimi ppm olarak ifade edilir. Molalite 1 kg çözücüde çözünen maddenin mol sayısı, molarite ise 1 L çözeltide çözünen maddenin mol sayısıdır. Çözeltilerde sıcaklık artınca molalite değeri değişmezken molarite değeri değişir. Bu nedenle en yaygın kullanılan molaritenin yerine bazı durumlarda sıcaklıktan bağımsız olan molalite tercih edilir.

1. Kütlece Yüzde Derişim

100 g çözeltide çözünmüş maddenin gram cinsinden miktarına **kütlece yüzde derişim** denir.

Kütlece yüzde derişim (%C)

$$\text{kütlece yüzde derişim} = \frac{\text{çözünenin kütlesi}}{\text{çözeltinin kütlesi}} .100$$

$$\%C = \frac{m_{\text{çözünen}}}{m_{\text{çözelti}}} .100$$ bağıntısı ile hesaplanır.

Örneğin 25 g tuz 100 g suda çözündüğünde oluşan çözeltinin kütlesi 125 g olur. Bu çözeltinin kütlece yüzde derişimi

$\%C = \frac{25}{125} .100 = 20$ olduğundan çözeltinin kütlece yüzde derişimi

C = %20 olur.

- Derişimleri ve kütleleri aynı ya da farklı olan maddenin farklı çözeltileri karıştırılırsa oluşan çözeltinin kütlece yüzde derişimi (%C)

$\%C_{son}m_{son} = \%C_1m_1 + \%C_2m_2 + \ldots$ formülü ile hesaplanır.

Örnek

Kütlece %40'lık 200 gram NaCl çözeltisi ile kütlece %20'lik 300 gram NaCl çözeltisi karıştırılırsa oluşan çözeltinin kütlece yüzde derişimi kaç olur?

Çözüm

C_1: %40 m_1: 200 C_2: %20 m_2: 300

$\%C_{son}m_{son} = \%C_1m_1 + \%C_2m_2$

$C_{son}.(200 + 300) = 40.200 + 20.300 \Rightarrow C_{son} = \%28$

2. Hacimce Yüzde Derişim

Sıvı–sıvı çözeltilerin hazırlanmasında kullanılan derişim türüdür. 100 cm³ (100 mL) çözeltideki çözünmüş olan maddenin cm³ miktarıdır.

Hacimce yüzde derişim (%C)

$$\text{hacimce yüzde derişim} = \frac{\text{çözünenin hacmi}}{\text{çözelti hacmi}} \cdot 100$$

$\%C = \frac{V_{çözünen}}{V_{çözelti}} \cdot 100$ bağıntısı ile hesaplanır.

Bilgi Kutusu

Çözücüsü ve çözüneni sıvı olan çözeltilerde miktarı fazla olan sıvı genelde çözücü kabul edilir.

Örnek

120 cm³ suda 30 cm³ etil alkol çözünürse çözeltideki hacimce alkol derişimi % kaç olur?

Çözüm

$\%C = \frac{V_{çözünen}}{V_{çözelti}} \cdot 100 \Rightarrow C = \frac{30}{150} \cdot 100 = \%20$ olur.

Bilgi Kutusu

Milyonda bir kısım: Bir insanın kafasında ortalama 10 000 saç kökü vardır. Yani milyonda bir kısım 100 insanda bulunan toplam saç kökünden bir tanesidir.

3. ppm (parts per million=milyonda bir kısım)

Çözeltilerde bir bileşenin kütle ya da hacim yüzdesi çok küçük ise çözelti derişimi genellikle başka birimlerle belirtilir. Örneğin 1mg/L'lik bir çözeltinin 1litresinde çözünenin miktarı 0,001 g'dır. Bu kadar seyreltik bir çözeltinin yoğunluğu ile suyun yoğunluğu hemen hemen aynıdır.1000 g çözeltide 0,001 g çözünen içeren bir çözeltinin derişimi ile 1 000 000 g çözeltide 1 g çözünen içeren bir çözeltinin derişimi aynıdır. Böyle bir çözeltinin derişimini milyonda bir kısım (ppm) şeklinde belirtmek daha doğru olur.

Derişimlerin çok küçük olduğu hassas ölçümlerde derişim birimi olarak kütlece yüzde derişim yerine ppm kullanılır. Özellikle havayı kirleten karbon dioksit, suda çözünmüş iyon derişimleri ve ilaçlardaki etken madde derişimleri ppm ile verilir.

1 ppm, 1 kg çözeltide veya çözücüde çözünenin miligram miktarıdır.

Çözücü olarak su kullanılmışsa suyun özkütlesi 1 g/mL olduğundan suyun hacmi yerine kütlesi de alınabilir.

$$ppm = \frac{\text{mg çözünen}}{\text{kg çözelti}} \text{ , } ppm = \frac{\text{mg çözünen}}{\text{1L çözelti}} \text{ , } ppm = \frac{\text{g çözünen}}{\text{g çözelti}} \cdot 10^6$$

formülleri ile hesaplanır.

Örnek

1 litre suda 2 mg Ca^{2+} iyonu çözündüğünde çözeltideki Ca^{2+} iyonunun derişimi kaç ppm olur?

Çözüm

Sulu çözeltilerde katı maddeler çözündüğünde suyun hacminde önemli değişme olmadığından çözelti hacmi yerine suyun hacmi alınır.

$$ppm = \frac{\text{mg çözünen}}{\text{1 L çözelti}} \qquad ppm = \frac{\text{2 mg}}{\text{1 L su}} = \text{2 ppm olur.}$$

4. Mol Kesri

Buhar basıncı gibi bazı fiziksel özellikler ile çözelti derişimi arasındaki bağıntılar incelenirken bütün çözelti bileşenlerinin mol temeline dayalı bir birimle belirtilmesine gereksinim duyulur. Bu amaçla çözelti derişimini belirtmek için mol kesri kullanılır. Bir çözeltideki bileşenin mol sayısının, çözeltideki bileşenlerin mol sayılarının toplamı oranına o bileşenin çözeltideki **mol kesri** denir. Mol kesri bir oran olduğu için birimsizdir ve X ile gösterilir.

$$\text{Mol kesri (X)} = \frac{n_{\text{bileşen}}}{n_{\text{toplam}}}$$

Çözüneni A çözücüsü B olan bir çözeltide A'nın mol kesri $X_A = \frac{n_A}{n_T}$, B'nin mol kesri $X_B = \frac{n_B}{n_T}$ şeklinde hesaplanır. n_T çözeltide bulunan bileşenlerin mol sayıları toplamıdır ($n_T = n_A + n_B$). Çözeltilerde çözücü ve çözünenin mol kesirleri toplamı 1'dir.

$$X_A + X_B + \ldots = 1$$

Örnek

54 gram suda (H_2O) 46 gram etil alkol (C_2H_5OH) çözünüyor. Çözeltideki su ve alkolün mol kesri kaçtır? (H_2O: 18, C_2H_5OH: 46)

Çözüm

$$\left.\begin{aligned} n_{H_2O} &= \frac{54}{18} = 3 \text{ mol} \\ n_{C_2H_5OH} &= \frac{46}{46} = 1 \text{ mol} \end{aligned}\right\} \Rightarrow X_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_{\text{toplam}}} = \frac{3}{4} \quad X_{C_2H_5OH} = \frac{n_{C_2H_5OH}}{n_{\text{toplam}}} = \frac{1}{4}$$

5. Molarite

1 litre çözeltide çözünen maddenin mol sayına **molarite** denir. Molaritenin birimi " Molar (M)" veya mol/L'dir. Molarite (molar derişim) en yaygın kullanılan derişim birimidir.

Örneğin 2 M $K_2Cr_2O_7$ çözeltisinin 1 litresinde 2 mol $K_2Cr_2O_7$ çözünmüştür. 3 M $K_2Cr_2O_7$ çözeltisinin 1 litresinde 3 mol $K_2Cr_2O_7$ çözünmüştür. Molarite arttıkça çözeltinin birim hacmindeki çözünen miktarı da artar.

$$\text{Molarite (M)} = \frac{\text{Çözünen mol sayısı (mol)}}{\text{Çözelti hacmi (L)}} \qquad M = \frac{n}{V}$$

Çözeltilerin molar derişimi sıcaklıkla değişir. Sıcaklık arttıkça buharlaşma olmadığı varsayılırsa çözücü hacmi genleşmeden dolayı artar, çözünenin miktarı sabit kalır. Böylece çözeltinin molar derişimi azalır.

Molarite, birim hacimdeki çözünen miktarını belirttiği için çözeltinin toplam miktarına bağlı değildir.

Örnek

200 mL çözeltide 72 gram glikoz ($C_6H_{12}O_6$) çözünmüş olarak bulunduğuna göre çözeltinin derişimi kaç molardır? ($C_6H_{12}O_6$: 180)

Çözüm

$n_{C_6H_{12}O_6} = \dfrac{m}{M_A} = \dfrac{72}{180} = 0{,}4$ mol glikoz çözünmüştür.

$V = 200$ mL $= 0{,}2$ L $\qquad M = \dfrac{n}{V} = \dfrac{0{,}4}{0{,}2} = 2$ M glikoz çözeltisi

- Bir çözelti su eklenerek seyreltilirse ya da çökme olmadan su buharlaştırılarak derişimi arttırılırsa çözeltideki çözünenin mol sayısı değişmez. Son durumda çözeltinin molaritesi

$M_1V_1 = M_2V_2$ formülü ile hesaplanır.

Örnek

2 M 100 mL NaOH çözeltisine 400 mL su eklenince çözeltinin molaritesi kaç M olur?

Çözüm

Çözeltinin son hacmi: $V_2 = 100 + 400 = 500$ mL olur.

Çözeltinin son molaritesi: $M_1V_1 = M_2V_2 \quad 2.100 = M_2.\ 500$

$M_2 = 0{,}4$ M olur.

- Aynı maddenin farklı çözeltileri karıştırıldığında molar derişim ve hacimdeki değişimler

$M_{son}V_{son} = M_1V_1 + M_2V_2 + \ldots$ formülü ile hesaplanır.

Örnek

0,1 M 100 mL H_2SO_4 çözeltisi ile 0,4 M 200 mL H_2SO_4 çözeltisi karıştırılınca çözeltinin molaritesi kaç M olur?

Çözüm

$M_{son}V_{son} = M_1V_1 + M_2V_2 \qquad M_{son}.\ (100 + 200) = 0{,}1.100 + 0{,}4.200$

$M_{son} = 0{,}3$ M

- Özkütlesi ve yüzde derişimi bilinen bir çözeltinin molaritesi

$M = \frac{d.10.\%C}{M_A}$ formülü ile hesaplanır.

d: Çözeltinin özkütlesi

%C: Çözeltinin kütlece yüzde derişimi

M_A: Çözünen maddenin mol kütlesi

M: Çözeltinin molaritesi

Örnek

Özkütlesi 1,12 g/mL olan kütlece %20'lik KOH çözeltisinin derişimi kaç M'dır? (KOH: 56)

Çözüm

$M = \frac{d.10.\%C}{M_A}$ $M = \frac{1,12.10.20}{56} = 4$ M olur.

6. Molalite

1 kilogram çözücüde çözünen maddenin mol sayısına **molalite** denir. Molalite "m" ile gösterilir ve birimi molal veya mol/kg'dır.

$$\text{Molalite (Molal)} = \frac{\text{Çözünen mol sayısı (mol)}}{\text{Çözücü kütlesi (kg)}} \qquad m = \frac{n}{m_{çözücü}}$$

Molalite hesaplamasında çözücü kütlesi kullanıldığından molalite sıcaklıktan etkilenmez. Laboratuvarda farklı sıcaklıklarda hazırlanan çözeltiler molal olarak hazırlanır. Çözeltilerde koligatif özellik olan kaynama noktası yükselmesi ve donma noktası düşmesi çözeltinin molalitesi üzerinden hesaplanır.

Örnek

500 g suda 7,1 gram Na_2SO_4 çözündüğü zaman çözeltinin derişimi kaç molal olur? (Na_2SO_4: 142)

Çözüm

Çözünen Na_2SO_4 mol sayısı: $n = \frac{7,1}{142} = 0,05$ mol

Çözücü kütlesi: $m_{çözücü} = 500$ g $= 0,5$ kg

Çözelti molalitesi: $m = \frac{n}{m_{çözücü}} \Rightarrow m = \frac{0,05}{0,5} = 0,1$ m olur.

Bilgi Kutusu

Farklı derişimlerde asit çözeltileri hazırlanırken hiçbir zaman asidin üzerine su eklenmemelidir. Suyun üzerine damla damla asit eklenmelidir.

3.2.2. Farklı Derişimlerde Çözeltiler Hazırlama

Çözelti derişimi, çözücü ve çözünen miktarları arasındaki ilişkiyi nasıl gösterir? Laboratuvar deneylerine başlamadan önce kullanılacak çözeltilerin derişimleri nasıl hesaplanır? Belli bir derişimde verilen çözelti miktarı başka derişim türlerine dönüştürülebilir mi?

Laboratuvar deneylerinde kullanılacak çözeltilerin derişimini hesaplamak oldukça önemlidir. Çözelti derişimi, kimyasal reaksiyona girecek olan madde miktarının hesaplanmasına yardımcı olur. Çözelti derişimleri hesaplamalarla birbirine dönüştürülebilir. Çeşitli derişimlerde çözelti hazırlayabilmek için çözeltilerle ilgili derişim hesaplamalarının iyi bilinmesi gerekir. Aşağıda derişim çeşitleriyle ilgili hesaplamalar ve farklı derişimlerde çözelti hazırlama örnekleri verilmiştir.

Örnek

Kütlece %30'luk 300 g şeker çözeltisini kütlece %25'lik yapmak için çözeltiye kaç g su ilave edilmelidir?

Çözüm

Çözeltilerde ilave edilen su ise derişim %0, ilave edilen madde saf çözünen ise derişim %100 alınır.

$\% C_{son} m_{son} = \%C_1 m_1 + \%C_2 m_2$

$25.(300+X) = 30.300 + 0 \quad \Rightarrow \quad X = 60$ g su ilave edilmelidir.

Örnek

Kütlece %20'lik 70 g NaCl çözeltisi ile kütlece %40'lık 160 g NaCl çözeltisi karıştırılıp çökelme olmadan 30 g su buharlaştırılıyor. Oluşan çözelti kütlece % kaçlık olur?

Çözüm

Su buharlaştırılınca çözelti miktarı azalır, çözünen madde miktarı değişmez.

$\% C_{son} m_{son} = \%C_1 m_1 + \%C_2 m_2$

$C_{son}.(70 + 160 - 30) = 20.70 + 40.160 \qquad C_{son} = \%39$ olur.

Örnek

Kütlece %40'lık 40 g şeker çözeltisi ile kütlece %30'luk 60 g şeker çözeltisi karıştırılıyor. Çözeltiye kaç gram daha şeker eklenirse çözeltinin derişimi kütlece %50'lik olur?

Çözüm

$\% C_{son} m_{son} = \%C_1 m_1 + \%C_2 m_2 + \%C_3 m_3$

$50.(40 + 60 + X) = 40.40 + 30.60 + 100.x \quad \Rightarrow \quad X = 32$ gramdır.

Örnek

Hacimce %50'lik 300 mL etil alkol çözeltisine kaç mL etil alkol eklenirse çözeltinin derişimi hacimce %80'lik olur?

Çözüm

$\%C_{son}\ V_{son} = \%C_1\ V_1 + \%C_2\ V_2$

$80.(300 + X) = 50.300 + 100.X \quad \Rightarrow \quad X = 450$ mL olur.

Örnek

İçerisinde 40 kg su bulunan akvaryumun O_2 gazı derişimi 4 ppm'dir. Bu akvaryumda kaç mg çözünmüş O_2 gazı vardır?

Çözüm

$\text{ppm} = \dfrac{\text{mg çözünen}}{\text{kg çözelti}} \qquad 4 = \dfrac{x}{40} \quad \Rightarrow \quad x = 160$ mg vardır.

Örnek

Kütlece %50'lik 720 g glikozun ($C_6H_{12}O_6$) sulu çözeltisinde glikoz ve suyun mol kesri kaçtır?

($C_6H_{12}O_6$: 180, H_2O: 18)

Çözüm

$720 . \dfrac{50}{100} = 360$ g glikoz, 720-360 = 360 g su

$n_{su} = \dfrac{360}{18} = 20$ mol $\qquad n_{glikoz} = \dfrac{360}{180} = 2$ mol $\qquad n_T = 20 + 2 = 22$ mol

$X_{su} = \dfrac{n_{su}}{n_T} = \dfrac{20}{22} = \dfrac{10}{11} \qquad X_{glikoz} = \dfrac{n_{glikoz}}{n_T} = \dfrac{2}{22} = \dfrac{1}{11}$ olur.

Örnek

0,2 M 100 mL NaOH çözeltisinde kaç gram NaOH katısı çözünmüştür? Bu çözelti laboratuvarda nasıl hazırlanır? (NaOH: 40)

Çözüm

$M = \frac{n}{V}$ $\quad 0,2 = \frac{n}{0,1} \Rightarrow n = 0,1.0,2 = 0,02$ mol NaOH

$m = n\,M_A \Rightarrow m = 0,02.40 = 0,8$ g NaOH

Buna göre çözeltiyi laboratuvarda hazırlamak için bir miktar suyun içerisine 0,8 g NaOH katısı eklenir. NaOH katısı bir miktar suda çözüldükten sonra toplam hacim 100 mL oluncaya kadar su ilave edilir.

Bilgi Kutusu

Asitler suda ısı açığa çıkararak çözünür. Asit üzerine su döküldüğü zaman çıkan ısı asitin etrafa saçılmasına neden olur. Bu nedenle asit üzerine su dökülmemeli, su içerisine asit damla damla ilave edilmelidir.

Derişik Bir Çözeltiden Seyreltik Bir Çözelti Hazırlama

Laboratuvar çalışmalarında sıvı-sıvı çözeltiler hazırlanırken bu çözeltilerdeki çözünmüş madde miktarı hacim olarak ölçülür. Asitlerin sulu çözeltileri genellikle sıvı-sıvı çözeltilerdir. Asitler nem çekici olduğundan %100 saflıkta bulunmaz. Laboratuvarda bulunan derişik asit şişelerinin etiketlerinde yüzde derişimi, özkütle ve mol kütlesi verileri belirtilir. Bu verilerden yararlanarak istenilen hacim ve derişimde çözelti hazırlamak için derişik asitten kaç mL alınacağı hesaplanır. Hesaplanan değer kadar derişik asit alınarak yeterli miktarda su ile karıştırılır.

Örnek

Kütlece %36,5'lik derişik HCl'ün yoğunluğu, belli bir sıcaklıkta 1,2 g/mL'dir. 400 mL 0,3 M HCl çözeltisi hazırlamak için derişik HCl çözeltisinden kaç mL alınarak hacim 400 mL'ye tamamlanmalıdır?
(HCl: 36,5)

Çözüm

Derişik HCl çözeltisinin molaritesi

$M = \frac{d.10.\%C}{M_A}$ $\quad M = \frac{1,2.10.36,5}{36,5} = 12$ M olur.

Çözelti derişimine hacim değişiminin etkisi $\quad M_1V_1 = M_2V_2 \quad 12.V_1 = 0,3.400 \Rightarrow V_1 = 10$ mL alınmalıdır.

Buna göre 12 M HCl çözeltisinden 10 mL alınarak toplam hacim 400 mL oluncaya kadar 400-10 = 390 mL su ile karıştırılır.

Örnek

3 mol NaOH kullanılarak hazırlanan 0,5 L çözeltinin yoğunluğu 1,2 g/mL olduğuna göre bu çözelti kütlece % kaçlıktır? (NaOH: 40)

Çözüm

Çözeltisinin molaritesi

$M = \frac{n}{V} = \frac{3}{0,5} = 6\ M$

$M = \frac{d.10.\%C}{M_A}$, $6 = \frac{1,2.10.\%C}{40} \Rightarrow C = \%20$

Örnek

0,4 M 1000 mL KOH çözeltisi iki ayrı kaba eşit hacimde aktarılıyor. Birinci kaptaki çözeltiye çökme olmadan 11,2 g KOH ilave edildiğinde kapta oluşan çözeltinin molaritesi kaç olur? (KOH: 56)

Çözüm

1000 mL çözeltideki KOH'in mol sayısı $n_1 = M V \Rightarrow n_1 = 0,4.1 = 0,4$ mol

Çözelti iki ayrı kaba eşit hacimde aktarıldığında birinci kaptaki KOH'in mol sayısı 0,2 mol, çözelti hacmi 500 mL olur.

İlave edilen KOH'in mol sayısı $n_2 = \frac{11,2}{56} = 0,2$ mol

$n_T = 0,2 + 0,2 = 0,4$ mol

Birinci kapta oluşan çözeltinin molaritesi: $M = \frac{n_T}{V_T} = \frac{0,4}{0,5} = 0,8$ M olur.

Örnek

0,40 M 300 mL $NaNO_3$ çözeltisine kaç mL su eklenirse çözelti derişimi 0,15 M olur?

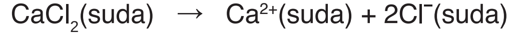
Çözüm

Çözelti derişimine hacim değişiminin etkisi

$M_1V_1 = M_2V_2$ 0,40.300 = 0,15. (300 + x)

x = 500 mL su eklenir.

- İyonik bileşikler, asitler ve bazlar suda iyonlarına ayrışarak çözünür. Çözelti derişimleri, çözünen maddeye göre ifade edilir. Çözeltideki iyonların molar derişimleri, çözünen madde ve iyonların stokiyometrik katsayısına göre bulunur. Örneğin 0,2 mol $CaCl_2$ 100 mL çözeltide çözündüğünde çözeltinin molar derişimi 2 M olur. Çözeltideki Ca^{2+} ve Cl^- iyonlarının mol sayıları ve molariteleri



$CaCl_2(suda) \rightarrow Ca^{2+}(suda) + 2Cl^-(suda)$

0,2 mol   0,2 mol   0,4 mol

2 M   2 M   4 M   şeklinde olur.

Bir çözeltideki iyon derişimleri [ ] ile gösterilir. Buna göre $CaCl_2$ çözeltisinde $[Ca^{2+}]$ = 2 M, $[Cl^-]$ = 4 M olur.

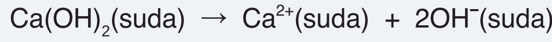
Örnek

14,8 g $Ca(OH)_2$'in suda çözünmesi ile oluşan 500 mL çözeltide bulunan $[Ca^{2+}]$ ve $[OH^-]$ iyon derişimleri kaç molardır? ($Ca(OH)_2$:74)

Çözüm

$Ca(OH)_2$'in mol sayısı, $n = \frac{14,8}{74} = 0,2$ mol

$Ca(OH)_2$'in molar derişimi, $M = \frac{n}{V} = \frac{0,2}{0,5} = 0,4M$



$Ca(OH)_2(suda) \rightarrow Ca^{2+}(suda) + 2OH^-(suda)$

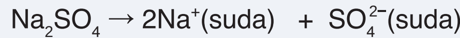
0,4 M   0,4 M   0,8 M olur.

Örnek

0,2 M Na^+ iyonu içeren 400 mL Na_2SO_4 çözeltisinde kaç gram Na_2SO_4 çözünmüştür? (Na_2SO_4: 142)

Çözüm

Na^+ iyonlarının mol sayısı $n = M\,V \Rightarrow n = 0,2.0,4 = 0,08$ mol



$Na_2SO_4 \rightarrow 2Na^+(suda) + SO_4^{2-}(suda)$

1 mol   2 mol   1 mol

0,04 mol ← 0,08 mol

Na_2SO_4'ın kütlesi $m = n\,M_A \Rightarrow m = 0,04.142 = 5,68$ g olur.

- İki çözelti karıştırılınca çözeltideki iyonların molariteleri

$M = \frac{n_{iyon}}{V_T}$ = formülü ile veya

$M_i V_T = M_1V_1e_1 + M_2V_2e_2 + \ldots$ ile bulunabilir.

M_i: İyon derişimi

V_T: Çözeltinin son hacmi

e: Bileşikteki iyonun sayısı

Örnek

0,40 M 100 mL $Al_2(SO_4)_3$ çözeltisiyle 0,20 M 400 mL K_2SO_4 çözeltisi karıştırıldığında çökme olmadığına göre çözeltideki $[Al^{3+}]$, $[K^+]$ ve $[SO_4^{2-}]$ iyonlarının derişimleri kaç molardır?

Çözüm

$M_i V_T = M_1 V_1 e_1 + M_2 V_2 e_2$ formülüne göre

$[Al^{3+}].500 = 0,4.100.2 + 0 \Rightarrow [Al^{3+}] = 0,16$ M

$[K^+].500 = 0 + 0,2.400.2 \Rightarrow [K^+] = 0,32$ M

$[SO_4^{2-}].500 = 0,4.100.3 + 0,2.400.1 \Rightarrow [SO_4^{2-}] = 0,40$ M olur.

Örnek

0,4 M $AlCl_3$ çözeltisi ile 0,2 M $CaCl_2$ çözeltisi eşit hacimde karıştırılırsa çözeltideki $[Cl^-]$ iyonları derişimi kaç molar olur?

Çözüm

I. yol

$M_i V_T = M_1 V_1 e_1 + M_2 V_2 e_2$ formülüne göre

$[Cl^-].2V = 0,4.V.3 + 0,2.V.2 \Rightarrow [Cl^-] = 0,8$ M

II. yol

İki çözelti eşit hacimde karıştırılırsa derişimler yarıya iner. Buna göre

Birinci çözeltide $[Cl^-] = \frac{0,4.3}{2} = 0,6$ M

İkinci çözeltide $[Cl^-] = \frac{0,2.2}{2} = 0,2$ M

Toplam $[Cl^-] = 0,6 + 0,2 = 0,8$ M olur.

Örnek

23,8 g KBr 500 g suda çözüldüğünde çözeltinin derişimi kaç molal olur? (KBr: 119)

Çözüm

KBr'ün mol sayısı: $n = \frac{23,8}{119} = 0,2$ mol $\qquad m_{çözücü} = 500$ g $= 0,5$ kg

$m = \frac{n}{m_{çözücü}} = \frac{0,2}{0,5} = 0,4$ molal olur.

Örnek

20 mL metanol (CH_3OH) suda çözünüyor ve su ilave edilerek hacmi 100 mL'ye tamamlanıyor. Oluşan metanol çözeltisinin yoğunluğu 0,96 g/mL'dir. Bu çözeltideki metanolün aşağıdaki derişim ifadelerini hesaplayınız. (CH_3OH: 32, d_{CH_3OH}: 0,8 g/mL)

a) Hacimce yüzde derişim

b) Kütlece yüzde derişim

c) Mol kesri

ç) Molarite

d) Molalite

Çözüm

a) Hacimce yüzde derişimi

$\%C = \frac{V_{çözünen}}{V_{çözelti}} \cdot 100 \Rightarrow \%C = \frac{20}{100} \cdot 100 \quad C = \%20$

b) Kütlece yüzde derişim

$m_{çözelti} = d_{çözelti} \, V_{çözelti} \Rightarrow m_{çözelti} = 0,96.100 = 96$ g

$m_{CH_3OH} = d\,V \Rightarrow m_{CH_3OH} = 0,8.20 = 16g \Rightarrow m_{su} = 96-16 = 80$ g

$\%C = \frac{m_{çözünen}}{m_{çözelti}} \cdot 100 \Rightarrow \%C = \frac{16}{96} \cdot 100 \quad C \cong \%16,67$

c) Mol kesri

$n_{CH_3OH} = \frac{16}{32} = 0,5$ mol $\qquad n_{su} = \frac{80}{18} = 4,44$

$X_{CH_3OH} = \frac{n_{CH_3OH}}{n_T} = \frac{0,5}{4,94} \cong 0,10 \qquad X_{su} = \frac{n_{su}}{n_T} = \frac{4,44}{4,94} \cong 0,90$ veya

$X_{CH_3OH} + X_{su} = 1 \Rightarrow 0,10 + X_{su} = 1, \; X_{su} = 1- 0,10 = 0,90$ olur.

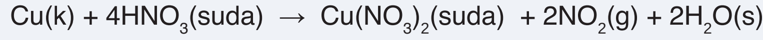
ç) Molaritesi

$$M = \frac{n}{V} = \frac{0,5}{0,1} = 5 \text{ M olur.}$$

d) Molalite

$$m = \frac{n_{çözücü}}{m_{çözücü}} = \frac{0,5}{0,08} = 6,25 \text{ mol/kg olur.}$$

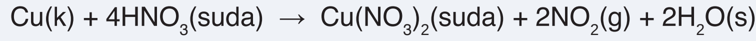
Örnek



$Cu(k) + 4HNO_3(suda) \rightarrow Cu(NO_3)_2(suda) + 2NO_2(g) + 2H_2O(s)$

Tepkimesine göre 0,1 mol Cu(k)'ın tamamı 200 mL HNO_3 çözelti ile artansız tepkimeye giriyor. Buna göre HNO_3 çözeltisinin derişimi kaç molardır?

Çözüm



$Cu(k) + 4HNO_3(suda) \rightarrow Cu(NO_3)_2(suda) + 2NO_2(g) + 2H_2O(s)$

0,1 mol → 0,4 mol

0,1 mol Cu harcandığında 0,4 mol HNO_3 tepkimeye girer. HNO_3'in molaritesi

$$M = \frac{0,4}{0,2} = 2 \text{ M olur.}$$

Örnek

Yoğunluğu 1,19 g/mL olan kütlece %36,5'lik derişik HCl çözeltisinden 0,1 M 500 mL HCl çözeltisi nasıl hazırlanır? (HCl: 36,5)

Çözüm

Derişik HCl çözeltisinin derişimi

$$M = \frac{d.10.\%C}{M_A} = \frac{1,19.10.36,5}{36,5} = 11,9 \text{ M olur.}$$

Derişik asitten kaç mL alınacağı hesaplanır.

$M_1 V_1 = M_2 V_2$ $\quad$ $11,9.V_1 = 0,1.500$

$V_1 = 4,2$ mL

500 mL'lik balon jojeye bir miktar su konularak üzerine 1,19 g/mL ve kütlece %36,5'lik derişik HCl çözeltisinden bir pipet yardımı ile 4,2 mL alınarak balon jojeye konur. Hacim 500 mL olana kadar saf su ilave edilir. Hazırlanan çözelti 0,1 M 500 mL HCl çözeltisidir.

ETKİNLİK 3.1

Etkinliğin Adı: Farklı Derişimlerde Çözelti Hazırlama

Etkinliğin Amacı: İstenilen derişimlerde çözelti hazırlamak

Etkinliğin Süresi: 40 dakika

Araç ve Gereçler

- 3 adet 100 mL balon joje
- 3 adet 200 mL beher
- Saf su
- NaCl
- NaOH
- $NaHCO_3$
- Spatül
- Terazi

Uygulama Aşamaları

1. 0,1 M 100 mL NaCl, 0,2 M 100 mL NaOH ve 0,5 M 100 mL $NaHCO_3$ çözeltileri hazırlamak için gerekli olan NaCl, NaOH ve $NaHCO_3$ kütlelerini hesaplayınız. (H:1, O:16, Na: 23, Cl: 35,5)
2. Hesapladığınız madde miktarlarını, çözelti derişimini ve hacimlerini aşağıdaki tabloya yazınız.

Çözelti No	Çözünen Madde	Çözelti Molaritesi (M)	Çözelti Hacmi (mL)	Çözünen Madde Kütlesi (g)
1	NaCl			
2	NaOH			
3	$NaHCO_3$			

3. Hesaplanan madde kütlelerini terazide tartarak 100 mL'lik balon jojelere koyarak balon jojeleri etiketleyiniz.
4. 200 mL'lik üç ayrı behere 100 mL saf su ilave ediniz.
5. Beherlerdeki saf suları ellişer mL olacak şekilde bir huni yardımıyla balon jojelere koyunuz. Balon jojeleri çalkalayarak maddelerin suda tamamen çözünmesini sağlayınız.
6. Beherlerde kalan suları balon jojelerdeki çözelti hacimleri 100 mL oluncaya kadar ayrı ayrı ilave ediniz.

Etkinliğin Değerlendirilmesi

Kimyasal tepkimelerin çoğu sulu ortamda gerçekleşir. Kimya laboratuvar deneylerinde deneye başlamadan önce istenilen hacim ve derişimde sulu çözeltiler hazırlanır. Çözüneni katı, çözücüsü sıvı çözeltiler hazırlanırken çözeltinin molaritesinden nasıl yararlanılır? Çözünen madde kütleleri nasıl hesaplanır?

3.1 UYGULAMA SORULARI

Aşağıdaki soruları cevaplayınız.

1. 1 M 700 mL HNO_3 çözeltisi hazırlayabilmek için kütlece %63'lük derişik HNO_3 çözeltisinden 50 mL alınıyor. Buna göre derişik HNO_3 çözeltisinin yoğunluğu kaç g/mL'dir? (HNO_3: 63)

2. 0,4 M HNO_3 çözeltisinde 12,6 g HNO_3 çözünüyor. Buna göre çözeltinin hacmi kaç mL'dir? (HNO_3: 63)

3. 0,5 M 300 mL NaCl çözeltisi ile X M 400 mL NaCl çözeltileri karıştırılarak 300 mL su ekleniyor. Son çözeltinin derişimi 0,75 M olduğuna göre ikinci çözeltideki X kaç molardır?

4. 0,2 M 200 mL $CaCl_2$ çözeltisi ile 0,4 M 200 mL NaCl çözeltileri karıştırılınca çözeltideki Cl^- iyonları derişimi kaç molar olur?

5. 200 mL hacminde su örneğinin analizi sonucu, 0,4 mg Ca^{2+} iyonu içerdiği belirleniyor. Bu su örneğinde Ca^{2+} iyonları derişimi kaç ppm'dir?

6. Kütlece %20'lik 60 g şeker çözeltisine kaç gram şeker eklenirse çözeltinin derişimi kütlece %25'lik olur?

7. Kütlece %20'lik etil alkol içeren sulu çözelti hacimce % kaç etil alkol içerir? ($d_{etil\ alkol}$ = 0,8 g/mL, d_{su} = 1 g/mL)

8. 36 g glikoz bir miktar suda çözündüğünde derişimi 0,4 molal olan çözelti oluştuğuna göre kullanılan su kaç gramdır? (H_2O: 18, $C_6H_{12}O_6$: 180)

9. $2Na(k) + 2H_2O(s) \rightarrow 2NaOH(suda) + H_2(g)$ tepkimesine göre 0,2 g H_2 gazı oluştuğunda 200 mL NaOH çözeltisi oluşuyor. NaOH çözeltisinin derişimi kaç molar olur? (H:1)

10. Yoğunluğu 1,25 g/mL olan NaOH çözeltisinin derişimi 6,25 M'dır. Bu çözeltideki NaOH'in

a) Kütlece yüzde derişimi

b) Molalitesi kaçtır? (NaOH: 40)

11. %20'lik 200 g Na_2CO_3 çözeltisi, 2 M 100 mL Na_2CO_3 çözeltisi ve 2 m 1212 g Na_2CO_3 çözeltisi karıştırıldığında son çözeltide kaç gram Na_2CO_3 bulunur? (Na_2CO_3: 106)

3. BÖLÜM

KOLİGATİF ÖZELLİKLER

- *Çeşme suyu normal koşullarda kaç °C'de kaynamaya başlar?*
- *Kışın kar yağışı olduğunda yolların buzlanmaması için neden tuz kullanılır?*
- *Uçaklarda buzlanma olmaması için uçaklar neden alkol ile yıkanır?*
- *Deniz suyundan içilebilir su elde etmek için hangi yöntemler kullanılabilir?*
- *Tuzlu su göllerindeki buharlaşma, tatlı su göllerindekine göre neden daha yavaştır?*

3.3.1. Çözeltilerin Koligatif Özellikleri

Bir çözeltide, çözünenin kimyasal yapısına bağlı olmayıp sadece çözünen taneciklerin derişimine bağlı özelliklere **koligatif özellikler** denir. Çözeltilerin bazı önemli özellikleri çözeltide çözünmüş taneciklerin birim hacimdeki sayısına bağlıdır. Çözeltilerdeki koligatif özellikler; buhar basıncı alçalması, kaynama noktası yükselmesi, donma noktası alçalması ve osmotik basınçtır. Bu özellikler ortak bir kökene yani ortamdaki çözünen taneciklerin atom, iyon ya da molekül sayısına bağlıdır.

Buhar Basıncı Alçalması, Kaynama Noktası Yükselmesi, Donma Noktası Alçalması ve Osmotik Basınç

Buhar Basıncı Alçalması

Kapalı bir kaba bir miktar sıvı konulduğunda sıvının yüzeyinde bulunan yüksek kinetik enerjili moleküller, aralarındaki etkileşimlerin kopması ile buhar fazına geçer. Moleküllerin buhar fazına geçmesi ile buhar moleküllerinin sayısı artar. Buhar moleküllerinin sıvı yüzeyine çarpması ile buhar moleküllerinin bir kısmı sıvı faza geri döner. Buharlaşma devam ederken yoğunlaşma başlamış olur. Buharlaşma ve yoğunlaşma hızlarının eşit olduğu anda sıvı-buhar dengesi kurulur. Bir sıvının üzerindeki buhar ile dengede olduğu andaki buharın basıncına sıvının **denge buhar basıncı** denir. Sıvıdan ayrılan moleküller buhar basıncı oluşturur. Bazı sıvıların 25 °C'de buhar basınçları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1: *Bazı Sıvıların 25 °C'deki Buhar Basınçları*

Bileşik	25 °C'de Buhar Basıncı (mmHg)
Cıva	0,0017
Su	23,8
Etanol	58,9
Benzen	94,6
Metanol	122,7

Oda koşullarında buhar basıncı yüksek olan sıvılara **uçucu sıvılar** denir. Katıların tanecikleri arasındaki etkileşimler sıvılara göre çok daha kuvvetli olduğundan katıların buhar basınçları yok denilecek kadar düşüktür.

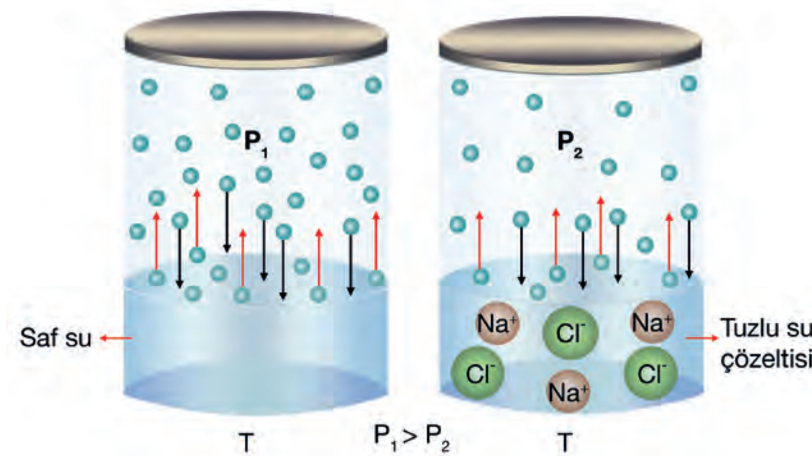
Sıvıların buhar basıncı; sıvının uçuculuğuna, sıcaklığa, moleküller arası çekim kuvvetine ve sıvının saflığına bağlıdır.

- Aynı sıcaklıkta uçucu sıvıların buhar basıncı daha yüksektir.
- Sıcaklık arttıkça sıvıların buhar basıncı artar (Tablo 3.2).
- Moleküller arası çekim gücü arttıkça buhar basıncı azalır.
- Sıvı içinde uçucu olmayan katı çözününce sıvının buhar basıncı düşer.
- Buhar basıncı; sıvı miktarına, sıvının bulunduğu kabın hacmine, sıvı yüzeyine ve dış atmosfer basıncına bağlı değildir.

Uçucu saf bir sıvı içinde uçucu olmayan katı ya da çözücüden daha az uçucu sıvı çözülürse oluşan çözeltinin buhar basıncı, uçucu saf sıvıya göre daha düşük olur. Örneğin kaynamakta olan suya bir miktar tuz atıldığında suyun buhar basıncı düşer ve kaynama olayı bir süre durur. Kaynama sıcaklığı, sıvıların buhar basıncına bağlı olduğundan suya karıştırılan tuz; suyun buhar basıncını düşürerek kaynama sıcaklığının artmasına neden olmuştur. Bu durum, suyun daha az buharlaşmasına yol açar (Görsel 3.5). Tuzlu su göllerindeki buharlaşmanın tatlı su göllerine göre daha az olmasının nedeni tuzun suyun buhar basıncını düşürmesidir.

Tablo 3.2: *Suyun Farklı Sıcaklıklardaki Buhar Basınçları*

Sıcaklık (°C)	Buhar Basıncı (mmHg)
0	4,6
10	9,2
25	23,8
50	92,5
70	233,7
100	760



Görsel 3.5: *Saf su ve tuzlu suyun buhar basıncı ve buharlaşma hızı*

Çözünen derişimi ile çözeltinin buhar basıncı arasındaki ilişki Fransız kimyacı Francois Raoult (Fransis Rault) tarafından açıklanmıştır.

Rault Yasası'na göre uçucu bileşeni bulunmayan bir çözeltideki buhar basıncı düşmesi, çözeltideki çözünenin mol kesri ile orantılıdır. Çözüneni uçucu olmayan çözeltilerde çözünenin buhar basıncı sıfırdır ($P^o_{çözünen} = 0$). Bu tür çözeltilerde çözeltinin buhar basıncı, saf çözücünün buhar basıncı ile çözeltideki çözücünün mol kesrinin çarpımına eşittir.

$P_{çözelti} = P^o_{çözücü} X_{çözücü} + P^o_{çözünen} X_{çözünen}$

$P^o_{çözünen} = 0$ olduğundan çözeltinin buhar basıncı

$P_{çözelti} = P^o_{çözücü} X_{çözücü}$ eşitliği ile hesaplanır.

Çözünen katı madde, iyonlarına ayrışırsa çözeltideki toplam iyon sayısı dikkate alınır. Katı çözünenin mol sayısı bulunurken tanecik sayısını gösteren “i” faktörü ile çarpılır.

İyonik katı maddelerin mol sayısı

$n_{çözünen} = n_{katı}$ i (n: mol sayısı, i: çözünen maddenin tanecik sayısı)

$$x_{çözücü} = \frac{n_{çözücü}}{n_{çözücü} + n_{çözünen}}$$ ile hesaplanır.

Çözücüsü ve çözüneni uçucu olan çözeltilerde çözeltinin buhar basıncı, çözeltideki çözücü ve çözünenin buhar basınçları toplamına eşittir. Örneğin çözücüsü A, çözüneni B olan bir çözeltide çözeltinin buhar basıncı

$P_T = P_A + P_B$ formülü ile bulunur.

Çözücü ve çözünenin çözeltideki buhar basınçları saf hâldeki buhar basınçları ile mol kesirleri çarpımına eşittir.

$P_A = P^o_A X_A$ $\qquad$ $P_B = P^o_B X_B$

$P_T = P^o_A X_A + P^o_B X_B$

Formülde

P_T: Çözeltinin buhar basıncı

P_A ve P_B: Çözücü ve çözünenin çözeltideki buhar basınçları

P^o_A ve P^o_B: Çözücü ve çözünenin saf hâldeki buhar basınçları

X_A ve X_B: Çözücü ve çözünenin mol kesri olarak ifade edilir.

Örnek

25 °C’de 180 g suda 11,7 g NaCl çözünüyor. Bu çözeltinin 25 °C’deki buhar basıncı kaç mmHg’dır? (H_2O: 18, NaCl: 58,5, 25 °C’de P^o_{su} = 23,8 mmHg)

Çözüm

Çözeltideki su ve NaCl’ün mol sayıları ve mol kesirleri

$NaCl(k) \rightarrow Na^+(suda) + Cl^-(suda)$ şeklinde iyonlaştığından NaCl’ün toplam tanecik sayısı i = 2’dir.

$n_{su} = \frac{180}{18} = 10$ mol $\qquad$ $n_{NaCl} = \frac{11,7}{58,5} = 0,2$ mol $\qquad$ $n_{çözünen} = 2.0,2 = 0,4$ mol

$n_{toplam} = 10 + 0,4 = 10,4$ mol $\qquad$ $X_{su} = \frac{10}{10,4} \cong 0,96$

Çözünen katı olduğu için saf hâldeki buhar basıncı sıfırdır.

$P_{çözelti} = P^o_{su} X_{su}$ $\qquad$ $P_{çözelti} = P_{su} = 23,8.0,96 = 22,848$ mmHg

Örnek

Kütlece %80 glikol (etandiol, $C_2H_4(OH)_2$) içeren sulu çözeltinin 53 °C'de buhar basıncı kaç mmHg'dır? (H_2O: 18, $C_2H_4(OH)_2$: 62, 53 °C'de P^o_{su} = 107 mmHg, $P^o_{etandiol}$= 1 mmHg)

Çözüm

Etandiol ve suyun mol sayısı ve mol kesri

$n_{etandiol} = \frac{80}{62} = 1{,}29$ mol

$n_{su} = \frac{20}{18} = 1{,}11$ mol

$X_{etandiol} = \frac{1{,}29}{2{,}40} \cong 0{,}5375$

$X_{su} = \frac{1{,}11}{2{,}40} \cong 0{,}4625$

$P_{etandiol} = P^o_{etandiol} X_{etandiol}$

$P_{su} = P^o_{su} X_{su}$

$P_{etandiol} = 1.0{,}5375 = 0{,}5375$ mmHg

$P_{su} = 107.0{,}4625 = 49{,}4875$ mmHg

$P_T = 0{,}5375 + 49{,}4875 = 50{,}025$ mmHg olur.

Örnekte görüldüğü gibi saf suyun 53 °C'de buhar basıncı 107 mmHg, çözeltideki buhar basıncı 49,4875 mmHg ve çözeltinin toplam buhar basıncı 50,025 mmHg'dır. Saf su etandiolden daha uçucu olduğu için suya etandiol eklenince çözeltideki suyun ve çözeltinin buhar basıncı saf suyun buhar basıncından daha az olur.

Kaynama Noktası Yükselmesi

Ağzı açık bir kapta ısıtılan suyun sıcaklığı artarken buhar basıncı da artar. Saf suyun buhar basıncı atmosfer basıncına eşit olunca su kaynamaya başlar. Bu noktadan sonra sıvının buhar basıncında artış olmaz. Bir sıvının buhar basıncının atmosfer basıncına eşit olduğu sıcaklığa sıvının **kaynama noktası** denir.

Saf sıvıların sabit basınç altında kaynama sıcaklıkları sabittir. Örneğin saf su 1 atmosfer basınç altında 100 °C'de kaynamaya başlar ve kaynarken sıcaklık 100 °C'de sabit kalır.

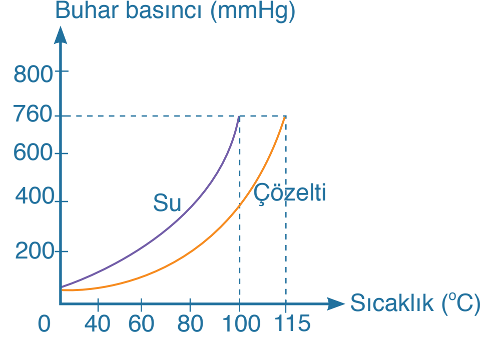
Bir sıvının kaynama noktası

- Sıvı molekülleri arası çekim kuvvetine bağlıdır. Sıvı molekülleri arasındaki çekim kuvveti fazla olan sıvıların kaynama noktası daha yüksektir.
- Sıvının uçuculuğuna bağlıdır. Uçucu sıvıların buhar basınçları yüksek, kaynama noktaları düşüktür.
- Sıvının molar buharlaşma ısısına bağlıdır. Molar buharlaşma ısısı büyük olan sıvıların kaynama noktaları da büyüktür.
- Sıvının saflığına bağlıdır. Saf sıvıların kaynama noktası uçucu olmayan katı-sıvı çözeltilerden düşüktür.
- Dış atmosfer basıncına bağlıdır. Dış atmosfer basıncı artınca sıvıların kaynama noktası artar.

Bilgi Kutusu

Aynı ortamda kaynayan farklı maddelerin buhar basınçları eşittir.

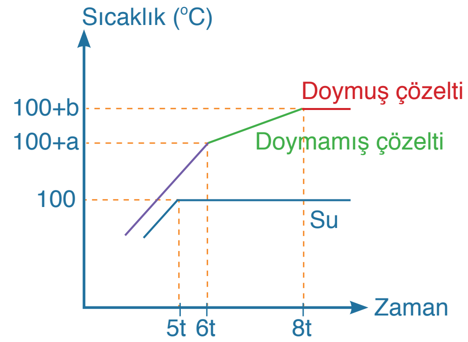
Saf su ve uçucu olmayan katı bir madde ile hazırlanmış çözeltinin buhar basıncının sıcaklıkla değişimi Grafik 3.1'de verilmiştir.



Grafik 3.1: *Su ve katı-sıvı çözeltisinin buhar basınçlarının sıcaklıkla değişimi*

Grafik 3.1 incelendiğinde sıcaklık arttıkça su ve çözeltinin buhar basınçlarının arttığı görülür. Aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncı çözeltinin buhar basıncından daha yüksektir. 1 atm basınç altında kaynama anında su ve çözeltinin buhar basınçları eşit (760 mmHg) fakat kaynama sıcaklıkları farklıdır.

Saf su ve tuzlu su çözeltisinin sıcaklıklığının zamanla değişimi Grafik 3.2'de verilmiştir.



Grafik 3.2: *Saf su ve tuzlu su çözeltisinin kaynamasına ait sıcaklık-zaman değişimi*

Grafik 3.2 incelendiğinde saf bir çözücü olan suyun ağzı açık bir kapta kaynama noktası 100 °C'dir. Su, kaynamaya başladıktan sonra tamamen buharlaşıncaya kadar kaynama noktası ve buhar basıncı değişmez.

Doymamış bir çözelti ısıtıldığında çözeltinin kaynama noktasına kadar (100+a °C) sıcaklık arttığı için sıvının buhar basıncı artar. Çözelti kaynamaya başladıktan sonra çözeltide çözücü buharlaşması çok fazla olur. Bu nedenle çözünen miktar değişmezken çözeltinin derişimi artar ve kaynama noktası yükselmeye devam eder. Belli bir süre sonra (100+b °C'de) çözücü buharlaştıkça çözünen çökmeye başlar ve çözelti doygun hâle gelerek derişimi sabit kalır. Bu durumda çözeltinin kaynama noktasında değişme olmaz. Çözeltinin buhar basıncı ise kaynama başladıktan sonra atmosfer basıncına eşit olur ve kaynama süresince buhar basıncı sabit kalır.

Çözeltilerde kaynama noktasındaki artış çözünenin mol kesri veya çözeltinin molalitesine bağlıdır. Çözeltilerdeki kaynama noktası yükselmesi

$\Delta T_k = K_k\ m\ i$ formülü ile hesaplanır.

Formülde

ΔT_k : $T_2 - T_1$ = Kaynama noktası yükselmesi (T_1: Çözücünün kaynama noktası, T_2: Çözeltinin kaynama noktası)

K_k: Kaynama noktası yükselme sabiti (ebülyoskopi sabiti)

m: Çözeltinin molalitesi

i: Çözünen maddenin tanecik sayısını ifade eder.

i faktörü suda iyonlaşmadan çözünen moleküler katılarda i = 1, AB tipi iki iyonlu iyonik katıda i = 2, AB_2 tipi üç iyonlu iyonik katıda i = 3 vb. olur.

Kaynama noktası yükselmesi ile çözünenin mol kütlesinin tayin edilmesine **ebülyoskopi** denir. Ebülyoskopi sabitleri (K_k) çözeltide kullanılan çözücünün cinsine göre değişir. Örneğin su için K_k = 0,52 °C/molal, etanol için K_k = 1,22 °C/molal, benzen için K_k= 2,53 °C/molal'dir.

Örnek

Derişimi 2 molal olan glikoz ($C_6H_{12}O_6$) çözeltisinin kaynama noktası 1 atm basınç altında kaç °C'dir? (K_k: 0,52 °C/molal)

Çözüm

$\Delta T_k = K_k\ m\ i$

ΔT_k = 0,52.2.1 = 1,04 °C

$\Delta T_k = T_2 - T_1$ ise 1,04 = T_2 - 100 T_2 = 101,04 °C

Çözeltinin kaynama noktası 101,04 °C'dir.

Örnek

1 atmosfer basınçta 17 g $NaNO_3$'ın 500 g suda çözünmesiyle oluşan çözeltinin kaynama noktası kaç °C'dir? (K_k: 0,52 °C/molal, $NaNO_3$: 85)

Çözüm

$n = \frac{m}{M_A} \Rightarrow n_{NaNO_3} = \frac{17}{85} = 0{,}2$ mol, $m = \frac{n}{m_{çözücü}} \Rightarrow m = \frac{0{,}2}{0{,}5} = 0{,}4$ m

$NaNO_3$(suda) $\rightarrow$ Na^+ (suda) + NO_3^- (suda) olduğu için i = 2 olur.

$\Delta T_k = K_k m i$ ΔT_k = 0,52. 0,4. 2 = 0,416

Çözeltinin kaynama noktası 100 + 0,416 = 100,416 °C olur.

Örnek

1000 g suda bir miktar $Sr(NO_3)_2$ çözündüğünde 1 atm basınçta çözeltinin kaynamaya başlama sıcaklığı 100,624 °C oluyor. Bu çözeltide kaç gram $Sr(NO_3)_2$ çözünmüştür? (K_k: 0,52 °C/molal, $Sr(NO_3)_2$: 222)

Çözüm

$Sr(NO_3)_2$ için i = 3 olur.

$\Delta T_k = K_k\, m\, i$ $\quad\quad\quad$ $\Delta T_k = 100{,}624 - 100 = 0{,}624\ °C$

$0{,}624 = 0{,}52.m.3 \Rightarrow m = 0{,}4$ molal

$0{,}4 = \dfrac{n_{Sr(NO_3)_2}}{1} \Rightarrow m = n\, M_A \Rightarrow m = 0{,}4.\ 222 = 88{,}8$ g $Sr(NO_3)_2$

Sıvıların içine uçucu olmayan katı eklendiğinde kaynama noktası yükselir. Bu yükselme eklenen katının çözücüdeki derişimiyle orantılıdır. Yani bir çözeltinin derişimi ne kadar fazla ise kaynama noktası o kadar yükselir. Kaynama noktası yükselmesi tanecik derişimi ile artarken tanecik cinsine bağlı değildir.

Örnek

I. 1 kg suda 0,3 mol $NaNO_3$ içeren sulu çözeltisi

II. 2 kg suda 0,4 mol K_2SO_4 içeren sulu çözeltisi

III. 0,5 kg suda 0,1 mol $Al(NO_3)_3$ içeren sulu çözeltisi

Yukarıda derişimleri verilen çözeltilerin aynı ortamda kaynamaya başlama sıcaklıklarını ve aynı sıcaklıkta buhar basınçlarını büyükten küçüğe doğru sıralayınız. (d_{su} = 1 g/mL)

Çözüm

$m = \dfrac{n}{m_{çözücü}}$ formülü ile çözeltilerin molalitesi hesaplanır.

I. $NaNO_3$ için i = 2, $m = \dfrac{0{,}3}{1}$ ve 0,3.2 = 0,6 m iyon

II. K_2SO_4 için i = 3, $m = \dfrac{0{,}4}{2}$ ve 0,2.3 = 0,6 m iyon

III. $Al(NO_3)_3$ için i = 4, $m = \dfrac{0{,}1}{0{,}5}$ ve 0,2.4 = 0,8 m iyon

Kaynamaya başlama sıcaklıkları derişimler ile doğru orantılı olarak değiştiğinden kaynamaya başlama sıcaklıkları III > II = I şeklinde olur.

Buhar basıncı, derişim ile ters orantılı olarak değiştiğinden buhar basınçları I = II > III şeklinde olur.

Örnek

100 g suda 11,7 g NaCl çözünerek hazırlanan çözelti 1 atm basınç altında 102,08 °C'de kaynar. Buna göre 300 g suda 0,6 mol Na_2CO_3 çözünerek oluşan çözelti kaç °C'de kaynamaya başlar? (NaCl: 58,5)

Çözüm

$n_{NaCl} = \frac{11,7}{58,5} = 0,2$ mol $\qquad \Delta T_k = 102,08-100 = 2,08$ °C

$m = \frac{n}{m_{çözücü}}$ ile çözeltilerin molalitesi hesaplanır.

$m = \frac{0,2}{0,1} = 2$ m NaCl $\Rightarrow$ NaCl için toplam tanecik molalitesi = 2. 2 = 4 m

$m = \frac{0,6}{0,3} = 2$ m $Na_2CO_3 \Rightarrow Na_2CO_3$ için toplam tanecik molalitesi = 2.3 = 6 m

4 m iyon 2,08 °C

6 m ?

$? = \frac{6.2,08}{4} = 3,12$ °C artar. $\qquad T_2 = 100 + 3,12 = 103,12$ °C'de kaynamaya başlar.

Örnek

8 gram NaOH'in bir miktar suda çözünmesiyle oluşan çözelti 1 atm'de 101,04 °C'de kaynamaya başlıyor. Buna göre kullanılan su kaç gramdır? (K_k = 0,52 °C/molal, NaOH: 40)

Çözüm

$n = \frac{m}{M_A}$ $\qquad n = \frac{8}{40} = 0,2$ mol $\qquad$ NaOH için i = 2 olur.

$\Delta T_k = K_k\ m\ i$ $\qquad \Delta T_k = 101,04 - 100 = 1,04$ °C

$1,04 = 0,52.m.2 \Rightarrow m = 1$ molal

$m = \frac{n}{m_{çözücü}}$ $\qquad 1 = \frac{0,2}{m_{çözücü}}$ $\qquad m_{çözücü} = 0,2$ kg = 200 g olur.

3.3. Alıştırma

1 kg suda 0,4 mol NaCl ve 0,2 mol şeker çözünmesiyle oluşan çözeltinin 1 atm basınçta kaynamaya başlama sıcaklığı kaç °C'dir? (K_k= 0,52 °C/molal)

3.4. Alıştırma

2 kg suda X mol KCl tuzu çözündüğünde oluşan çözeltinin 1 atm basınçta kaynamaya başlama sıcaklığı 100,208 °C'dir. Buna göre X kaçtır? (K_k= 0,52 °C/molal)

ETKİNLİK 3.2

Etkinliğin Adı: **Saf Suyun ve Farklı Derişimlerdeki Sulu Çözeltilerin Kaynama Noktası Tayini**

Etkinliğin Amacı: Saf suyun ve sıvı-katı çözeltilerin kaynama noktaları farkını tespit etmek

Etkinliğin Süresi: 40 dakika

Araç ve Gereçler

- 3 adet 200 mL beher
- Saf su
- NaCl
- Termometre
- Baget
- Kaynama taşı
- Isıtıcı
- Spatül
- Terazi

Uygulama Aşamaları

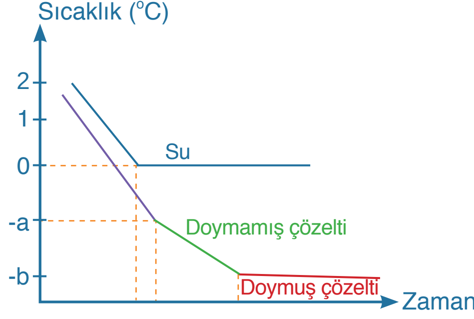
1. 3 adet beherin içine 100 mL su ilave ediniz, beherlere numara vererek beherleri etiketleyiniz.
2. 5,85 g NaCl tuzu tartıp 2. beherdeki suya ilave ederek tuz çözünene kadar bagetle karıştırınız.
3. 11,7 g NaCl tuzu tartıp 3. beherdeki suya ilave ederek tuz çözünene kadar bagetle karıştırınız.
4. Beherlerin her birine kaynama taşı atınız.
5. Beherdeki sıvılara termometre yerleştirerek her beherdeki sıvıyı ısıtıcı ile kaynayıncaya kadar ısıtınız.
6. Sıvılar, kaynama başlayıncaya kadar sıvıların sıcaklık değerlerini termometreden okuyarak birer dakika aralıkla not ediniz.
7. Sıvılar kaynamaya başladıktan sonra sıvıların termometrelerdeki sıcaklık değerlerini okuyarak 30 saniye aralıkla not ediniz.
8. Not ettiğiniz değerlerle her bir sıvı için sıcaklık-zaman grafiği çiziniz.
9. Not ettiğiniz sıcaklık değerlerinin farklılığını kullandığınız madde miktarlarına göre yorumlayınız.
10. 2 ve 3. beherlerdeki tuzlu suların kaynama noktasını $\Delta T_k = K_k.m.i$ formülü ile hesaplayınız. Bulduğunuz sonuçları deney sonuçları ile karşılaştırınız. (NaCl: 58,5, K_k: 0,52 °C/m)

Etkinliğin Değerlendirilmesi

Saf sıvıların sabit basınç altında kaynama noktaları, kaynama süresince sıcaklıkları ve buhar basınçları nasıl değişir? Sıvı içinde uçucu olmayan katı çözüldüğünde sıvının kaynama noktasındaki değişimi yorumlayınız. Çözeltinin derişimi ile kaynama noktası arasındaki ilişkiyi açıklayınız.

Donma Noktası Alçalması

Saf sıvıların sabit basınçta belli bir donma sıcaklığı olmasına rağmen çözeltilerin sabit bir donma sıcaklığı yoktur. Çözeltiler saf çözücülerden daha düşük sıcaklıkta donar. Donma olayı gerçekleşirken tanecikler düzensiz bir durumdan daha düzenli bir duruma geçer. Bu geçiş sırasında dışarıya enerji verilir. Çözelti, çözücüden daha düzensiz olduğundan taneciklerin düzenli hâle gelmesi için saf çözücüye oranla daha fazla enerjinin uzaklaştırılması gerekir. Bu nedenle çözelti, çözücüden daha düşük donma noktasına sahiptir. Çözeltilerde donma sırasında sıcaklık, doymuş çözelti oluşuncaya kadar sürekli azalır (Grafik 3.3).



Grafik 3.3: *Saf su ve sıvı-katı çözeltisinin soğuması sırasındaki sıcaklık-zaman değişimi*

Kış aylarında uçakların alkolle yıkanmasının (Görsel 3.6), buzlu yola tuz dökülmesinin (Görsel 3.7), araba radyatörlerine antifriz konmasının, deniz ve tuz göllerinin tatlı sulardan daha geç donmasının nedeni sulu çözeltilerin donma noktasının saf sudan daha düşük olmasıdır. Uçucu olmayan katılar suda çözündüklerinde oluşan çözeltinin kaynama noktası saf sudan yüksek, donma noktası ise saf sudan düşük olur.

Görsel 3.6: *Buzlanmayı engellemek için uçakların alkolle yıkanması*

Görsel 3.7: *Buzlanmayı engellemek için yolların tuzlanması*

Bilgi Kutusu

Çözeltilerdeki donma noktasının alçalması çözünen maddenin cinsine bağlı olmayıp toplam tanecik sayısına bağlıdır.

Çözeltilerde donma noktasındaki alçalma çözünenin mol kesri ve molalitesi ile orantılıdır. Çözeltilerdeki donma noktası alçalması

$\Delta T_d = - K_d m i$ formülü ile hesaplanır.

Formülde

$\Delta T_d : T_2 - T_1$ = Donma noktası alçalması (T_1: Çözücünün donma noktası, T_2: Çözeltinin donma noktası)

ΔT_d: Donma noktası alçalması

K_d: Donma noktası alçalma sabiti (kriyoskopi sabiti)

m: Çözeltinin molalitesi

i: Çözünen maddenin tanecik sayısını ifade eder.

- 1 atm basınç altında 1 kg suda 1 mol glikoz çözününce çözeltinin kaynama noktası 0,52 °C artar. Donma noktası 1,86 °C azalır. Çözücüsü su olan çözeltilerde ebülyoskopi sabiti K_k = 0,52 °C/m, kriyoskopi sabiti ise K_d = 1,86 °C/m'dir. Farklı sıvıların ebülyoskopi ve kriyoskopi değerleri farklıdır. Bazı sıvıların ebülyoskopi ve kriyoskopi değerleri Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3: *Bazı Sıvıların Ebülyoskopi ve Kriyoskopi Sabitleri*

Çözücü	Donma Noktası (°C, 1 atm)	K_d (°C/m)	Kaynama Noktası (°C, 1 atm)	K_K (°C/m)
Su	0	1,86	100	0,52
Benzen	5,5	5,12	80,1	2,53
Etanol	-117,3	1,99	78,4	1,22
Asetik asit	16,6	3,90	117,9	2,93

Örnek

1 atm basınç altında 248 g etilen glikol ($C_2H_6O_2$) 200 g suyla karıştırıldığında oluşan çözelti kaç °C'de donmaya başlar? ($C_2H_6O_2$: 62, K_d = 1,86 °C/m)

Çözüm

$n_{C_2H_6O_2} = \frac{m}{M_A} = \frac{248}{62} = 4$ mol $m_{su} = 200$ g $= 0,2$ kg $m = \frac{n_{çözünen}}{m_{çözücü}} = \frac{4}{0,2} = 20$ m

$C_2H_6O_2$ moleküler olarak çözündüğü için i = 1'dir.

$\Delta T_d = - K_d.m.i$ $\Delta T_d = - 1,86.20.1 = -37,2$ °C

$\Delta T_d = T_2 - T_1$ $- 37,2 = T_2 - O$ $T_2 = - 37,2$ °C

Bu çözelti - 37,2 °C'de donmaya başlar.

Örnek

1 atm basınç altında 20 g NaOH'in 400 g suda çözünmesiyle hazırlanan sulu çözelti kaç °C'de donmaya başlar?
(NaOH: 40, K_d: 1,86 °C/m)

Çözüm

$n_{NaOH} = \frac{m}{M_A} = \frac{20}{40} = 0,5$ mol $\qquad m_{su} = 400$ g $= 0,4$ kg

$m = \frac{n_{çözünen}}{m_{çözücü}} = \frac{0,5}{0,4} = 1,25$ m

NaOH suda NaOH $\rightarrow$ $Na^+ + OH^-$ şeklinde iyonlaştığı için i = 2'dir.

$\Delta T_d = - K_d m i \qquad \Delta T_d = - 1,86.1,25.2 = -4,65$ °C

$\Delta T_d = T_2 - T_1 \qquad - 4,65 = T_2 - O \qquad T_2 = - 4,65$ °C

Bu çözelti - 4,65 °C'de donmaya başlar.

3.5. Alıştırma

1 atm basınç altında 2 mol sakkaroz ($C_{12}H_{22}O_{11}$) 400 g suda çözündüğünde oluşan çözelti

a) Kaç °C'de kaynamaya başlar?

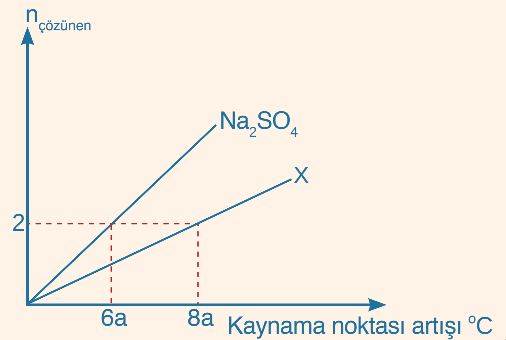
b) Kaç °C'de donmaya başlar? (K_d = 1,86 °C/m, K_k = 0,52 °C/m)

3.6. Alıştırma

Aynı koşullarda 100 mL suda 0,2 mol NaCl çözünmesi ile oluşan çözelti -2a °C'de donmaya başladığına göre 200 mL suda 0,4 mol K_2CO_3 çözünmesiyle oluşan çözelti kaç °C'de donmaya başlar?
(d_{su} = 1 g/mL)

3.7. Alıştırma

Yandaki grafik 1 atm basınç altında 2000 g suda Na_2SO_4 ve X tuzlarının çözülmesiyle elde edilmiştir. Buna göre X maddesi için iyon sayısı (i) değeri kaçtır?



3.8. Alıştırma

29,8 g KX tuzunun 500 g suda çözünmesiyle oluşan çözelti 1 atm basınç altında 100,832 °C'de kaynamaya başlıyor. Buna göre X atomunun mol kütlesi kaçtır? (K: 39, K_k: 0,52 °C/m)

Osmotik Basınç

Kimyasal ve biyolojik olayların birçoğu; çözücü moleküllerin seçici, geçirgen ve gözenekli bir zar boyunca seyreltik çözeltiden derişik çözeltiye doğru seçimli olarak geçişine dayanır. Yarı geçirgen zar (membran), çözücü moleküllerin geçmesine izin veren fakat çözünen moleküllerin geçişine izin vermeyen doğal ya da yapay bir maddedir.

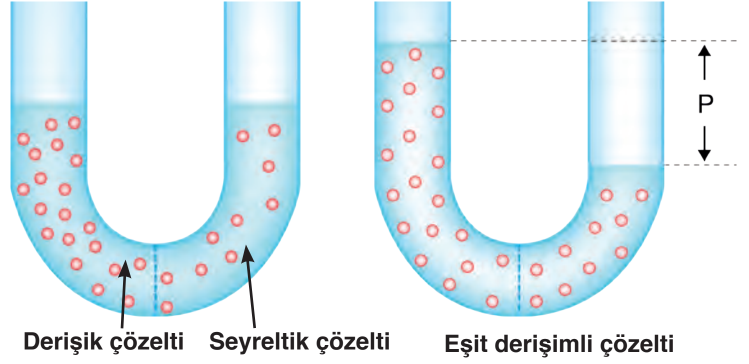
Yarı geçirgen zarla ayrılmış derişimleri farklı çözeltilerde derişimi az olan çözeltiden derişimi fazla olan çözeltiye çözücü moleküllerin geçmesi olayına **osmoz** denir. Yükseklikleri aynı olan bir çözelti ile saf çözücü birbirinden yarı geçirgen bir zar ile ayrılırsa osmoz olayı gerçekleşir. Bu olayda bir süre sonra çözücü molekülleri çözelti tarafına geçerek çözeltiyi seyreltir ve çözelti seviyesinin yükselmesini sağlar. Bunun nedeni, saf çözücünün birim hacminde çözeltinin birim hacmine göre daha çok çözücü molekülü bulunmasıdır. Bu dengesizliği gidermek için saf çözücüden çözeltiye çözücü moleküller geçer. Çünkü çözücü molekülleri derişimleri küçük olan yerden büyük olan yere doğru kendiliğinden geçme eğilimindedir. Bu geçiş bir denge kuruluncaya kadar devam eder.

***Görsel 3.8:* a)** *Osmoz olayı gerçekleşmeden önceki ilk durum* **b)** *Osmoz olayının gerçekleşmesinden sonraki durum*

Görsel 3.8 a ve b incelendiğinde yarı geçirgen zarla ayrılmış saf su ve tuzlu su bölmelerindeki seviyeler ilk başta eşittir. Osmoz olayına göre çözücü olan su yarı geçirgen zardan tuz derişimi fazla olan tuz çözeltisine geçer. Bu nedenle tuzlu su bölmesinde çözeltinin yüksekliği belli bir süre sonra artarken diğer bölmede su yüksekliği azalır. Bu durum denge kuruluncaya kadar devam eder.

Osmoz olayındaki çözücünün derişimi az olan çözeltiden derişimi çok olan çözeltiye geçişi osmotik akış olarak ifade edilir. Osmotik akışı çözelti üzerine bir basınç uygulayarak yavaşlatmak, net geçişi durdurmak hatta tersine döndürmek mümkündür. Osmoz olayının gerçekleştiği kapta osmotik akışı durdurmak için gereken basınca çözeltinin **osmotik basıncı** denir.

Günlük hayatta gerçekleşen olayların birçoğu osmotik basınçla ilgilidir (Görsel 3.9). Bitkilerde suyun köklerden yukarıya taşınmasında osmotik basınç etkilidir. Biyokimyacılar, hemoliz olarak adlandırılan bir teknikle kandaki alyuvar içeriğini ölçmede osmotik basınçtan yararlanır. Ev yapımı reçel ve marmelatların korunması, osmotik basıncın uygulamalarından biridir.



Görsel 3.9: *Osmotik basınç (P)*

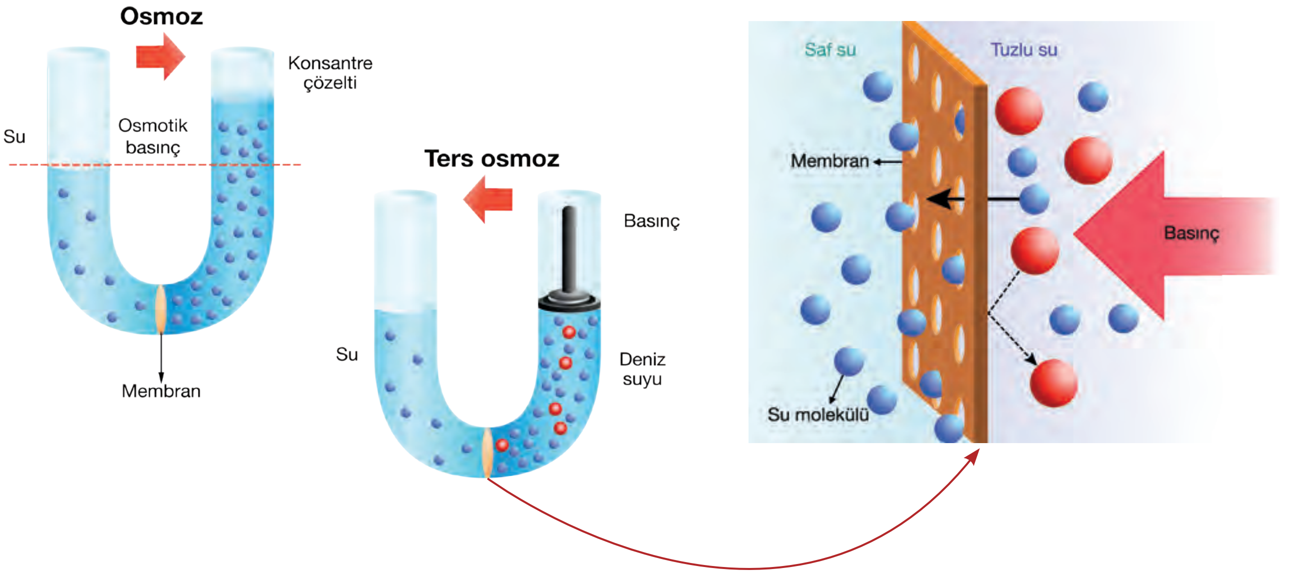
Donma noktası alçalması ve kaynama noktası yükselmesi gibi osmotik basınç da çözeltideki madde türüne bağlı değildir. Osmotik basınç, çözeltideki çözünmüş olan maddelerin molalitesi ile orantılıdır.

Yarı geçirgen zar ile ayrılmış iki farklı çözeltiden derişimi yüksek olan çözeltiye **hipertonik**, derişimi düşük olan çözeltiye **hipotonik**, derişimleri eşit olan çözeltilere de **izotonik çözelti** denir.

Hücre zarı yarı geçirgen bir zardır. Hücrelere suyun giriş ve çıkışı osmoz olayı ile gerçekleşir. Hücre içi derişimi hücre dışından büyükse hücre dışından içine su geçişi olur ve hücre şişer. Hücre içi derişimi hücre dışından küçükse hücre içinden dışına su geçişi olur ve hücre büzülür. Hücre içi ve dışı derişimi eşitse her iki tarafa eşit miktarda su geçişi olur.

Ters Osmoz ve Ters Osmoz Yöntemiyle Su Arıtımı

Osmotik basınç, osmoz akışını durdurmak için gerekli basınçtır. Osmotik basınçtan büyük bir basınç uygulandığında osmoz olayının tersi gerçekleşerek çözücü, derişimi çok olan ortamdan derişimi az olan ortama geçer. Bu olaya **ters osmoz** denir (Görsel 3.10).



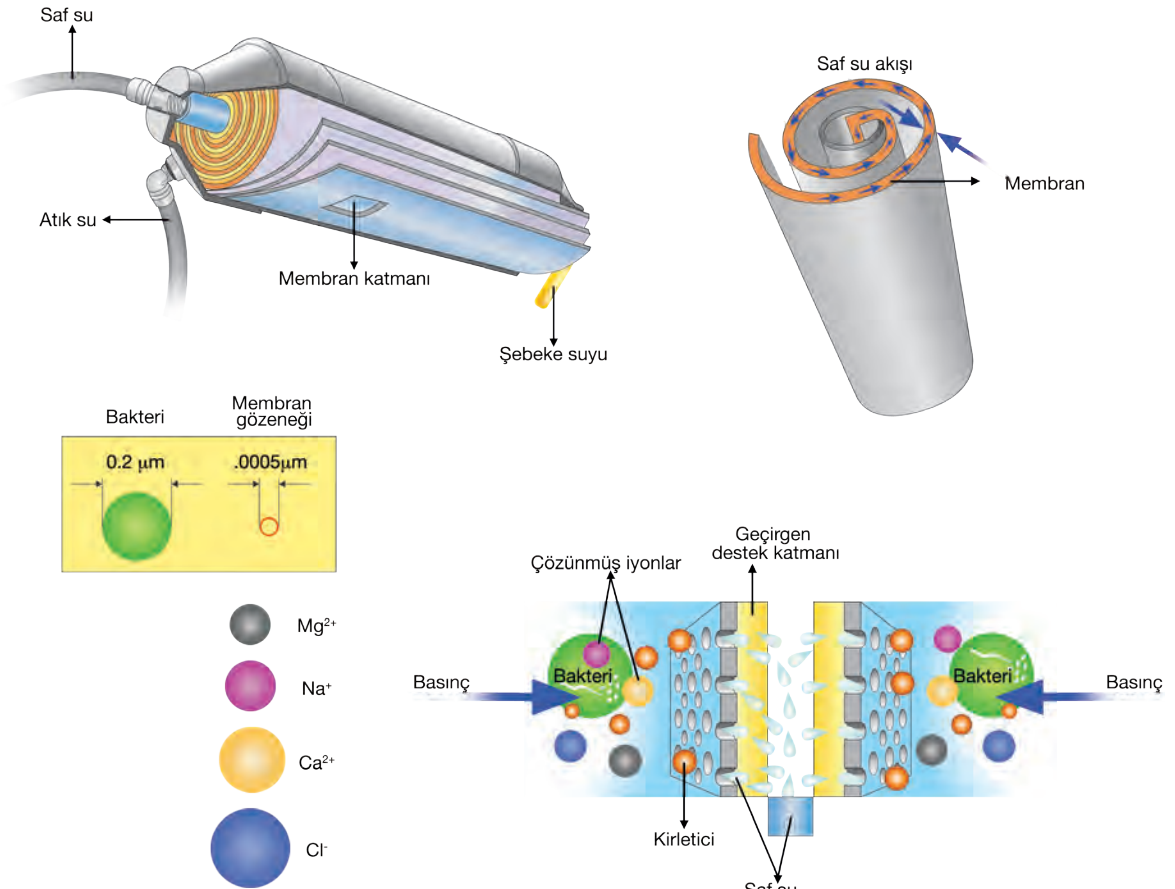
Görsel 3.10: *Ters osmoz*

Dünyanın %75'i sudur. Bu suların %97'si tuzlu su, %3'ü tatlı sudur. Su kaynaklarının dünya üzerindeki dağılımı dengeli değildir. Dünyanın bazı bölgeleri ihtiyaçtan daha fazla içilebilir su kaynaklarına sahipken bazı bölgelerde içilebilir su sıkıntısı çekilmektedir. Bu su dengesizliğinin giderilmesi adına küresel boyutlarda atılacak adımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Dünyanın değişik bölgelerinde okyanuslar ve denizler bulunmasına rağmen bu sular tuzlu olduğu için kullanılamamaktadır. Okyanus ve deniz sularında büyük oranda NaCl tuzu bulunur. Ayrıca tuzlu sularda kalsiyum, magnezyum, potasyum, sülfat ve bikarbonat iyonları bulunmaktadır.

Deniz suyunun içme suyu ve kullanılabilir su hâline gelebilmesi için birçok yöntem uygulanır. Bu yöntemlerden birisi damıtma işlemidir. Damıtma işleminin yapılabilmesi için çok fazla enerjiye gereksinim duyulur. Bu yöntemle elde edilen su, maliyetli olduğu için tercih edilmez.

Deniz suyundan kullanılabilir ve içme suyu elde etmek için genellikle ters osmoz yöntemi uygulanır. Ters osmoz yönteminde damıtma yöntemindeki gibi fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaz. Bu yöntemle su arıtımı daha az maliyetle gerçekleşir.

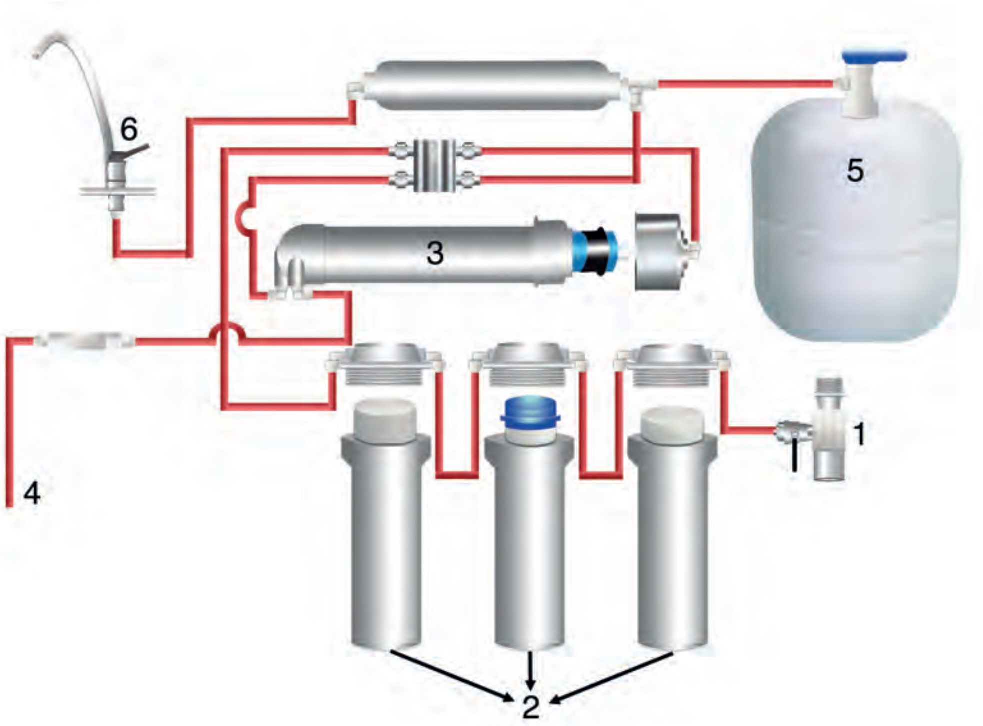
Yeterli su kaynakları olmayan ve deniz kıyısı olan ülkeler su ihtiyaçlarını büyük oranda ters osmoz yöntemi ile karşılar. Evlerdeki su arıtım sistemleri, ters osmoz yöntemi ile şebeke sularını arıtır. Konutlarda şebeke suyunun arıtılarak içme suyu elde edilmesinde ters osmoz ile çalışan arıtım sistemleri kullanılır. Bu su arıtımında damıtma yerine membran (yarı geçirgen zar) teknolojisi olan ters osmoz sistemleri kullanılmaktadır (Görsel 3.11).



***Görsel 3.11:** Konutlardaki su arıtımında kullanılan membran*

Ters osmozla su arıtımı yapılırken kullanılan membranın özellikleri önemlidir. Membranlar, genellikle asetat selülozdan yapılmış polimer malzemelerdir. Bu polimer malzemeler, spiral sargı yapılarak bir boru içine konularak kullanılır. Asetat selülozdan yapılmış membranlar klorlu suya dayanıklıdır.

Membranlar sadece suyu geçirebilecek şekilde üretilir. Şebekeden membrana gelen su, basınç etkisiyle derişimi çok olan ortamdan az olan ortama geçer (ters osmoz). Böylelikle su minerallerden ve istenmeyen maddelerden ayrılarak arıtılmış olur. Mineral ve diğer maddeleri içeren atık su ise gider borusuna gönderilerek tahliye edilir. Görsel 3.12'de konutlarda ters osmoz ile çalışan su arıtım cihazlarının sistem şeması gösterilmiştir.



1. Şebeke suyu
2. Filtreler
3. Membran
4. Atık su çıkışı
5. Tank
6. Musluk (Arıtılmış su)

Görsel 3.12: *Ters osmoz ile çalışan su arıtım cihazı çalışma sistem şeması*

Bilişim teknolojilerinden yararlanarak (animasyon, simülasyon, video vb.) ters osmoz yöntemi ile su arıtımının açıklamasını yapınız. İlgili görsellere Millî Eğitim Bakanlığı Eğitim Bilişim Ağı **www.eba.gov.tr** adresinden ulaşılabilir.

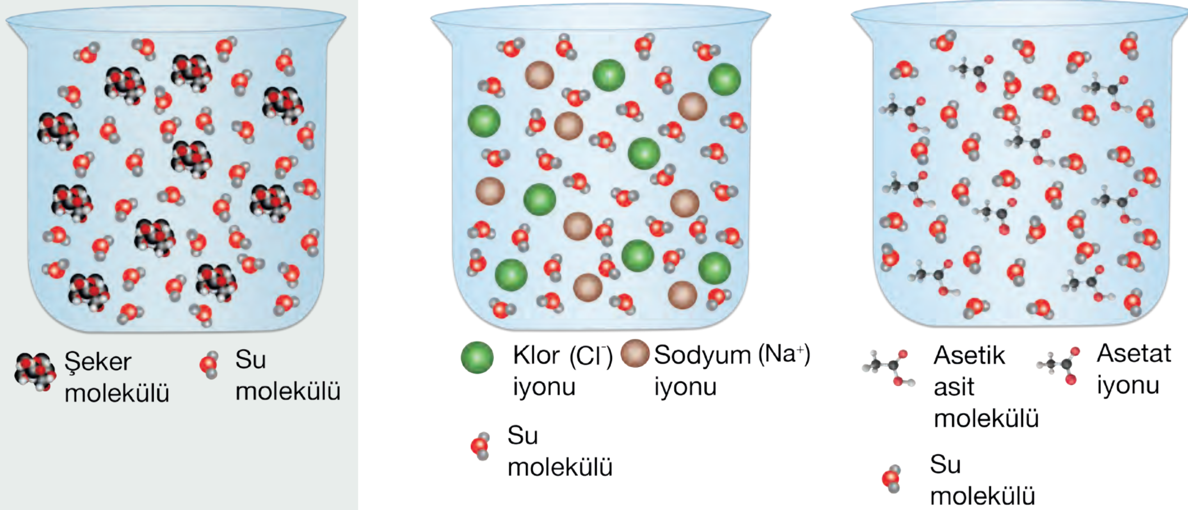
4. BÖLÜM

ÇÖZÜNÜRLÜK

- *İyonik ve moleküler bileşikler, suda istenen oranda çözünebilir mi?*
- *Çözeltiler, çözünürlüklerine göre nasıl sınıflandırılır?*
- *Bir çözücüde herhangi bir çözünenin ne kadar miktarda çözünebileceği hangi hesaplamalarla bulunur?*
- *Balın şekerlenmesi çözünürlükle nasıl açıklanır?*

3.4.1. Çözeltilerin Çözünürlük Kavramı ile Sınıflandırılması

Bir maddenin, başka bir madde içinde gözle görülemeyecek şekilde homojen olarak dağılmasına **çözünme** denir. Çözünme olayı, moleküler ya da iyonlaşarak gerçekleşir. $C_6H_{12}O_6$, C_2H_5OH gibi maddeler suda moleküler yapıda çözünürken NaCl, KNO_3, $Ca(OH)_2$ gibi maddeler suda iyonlaşarak çözünür. CH_3COOH, HF gibi moleküler yapıdaki asitlerin büyük bir kısmı suda moleküler olarak çözünürken bir kısmı iyonlaşarak çözünür (Görsel 3.13).



Görsel 3.13: *Tuz, şeker ve asetik asidin suda çözünmesi*

Bazı iyonik bileşikler suda çok fazla çözünürken bazıları suda çok az çözünür. Örneğin $NaNO_3$, KCl, NaCl, Na_2SO_4 gibi iyonik bileşikler suda çok fazla çözünürken AgCl, $PbSO_4$, $BaSO_4$, $CaCO_3$ gibi iyonik bileşikler çok az çözünür.

Çözücü ve çözünen taneciklerin bir araya gelmesiyle çözelti oluşur. Çözeltilerin farklı özellikleri ele alınarak farklı çözelti sınıflandırmaları yapılır. Bu sınıflandırmalar çözeltinin hâline, çözünmenin moleküler ya da iyonik olmasına (elektrik iletkenliği), çözücü ve çözünen arası orana veya çözünürlüğüne göre yapılır.

Belirli sıcaklık ve basınçta, 100 g ya da 100 cm^3 çözücüde çözünebilen en fazla madde miktarına **çözünürlük** denir. Çözünürlük birimi g/100 g çözücü veya g/100 cm^3 çözücü cinsinden verilir.

Genelde çözücü olarak su kullanılır. Ayrıca 1 L doygun çözeltide çözünmüş olan maddenin mol sayısına **molar çözünürlük** denir. Molar çözünürlüğün birimi mol/L'dir.

Farklı maddelerin aynı çözücü ve sıcaklıkta çözünürlük değerleri farklıdır. Bu nedenle çözünürlük ayırt edici özelliktir. Örneğin 25 °C'de $KClO_3$ tuzunun çözünürlüğü 12 g/100 g su, 25 °C'de NaCl tuzunun çözünürlüğü 38 g/100 g sudur.

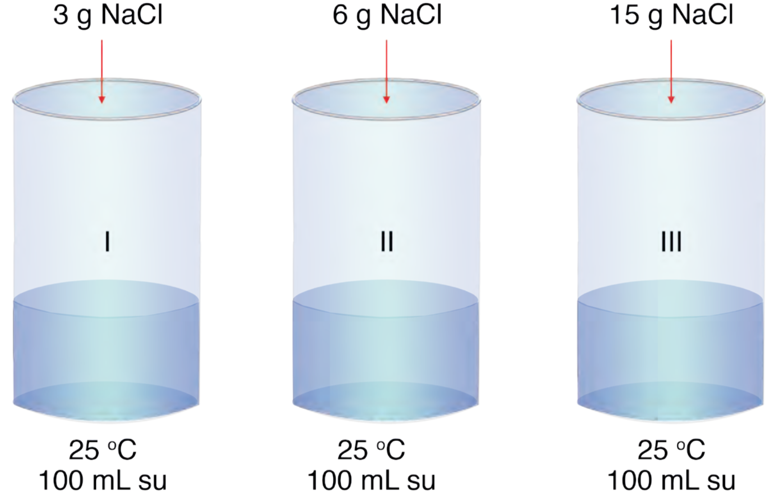
Bilgi Kutusu

Suyun yoğunluğu d_{su} = 1 g/cm³ olduğu için 100 g su = 100 cm³ su = 100 mL sudur.

Derişik ve Seyreltik Çözeltiler

Çözeltiler, çözücü ve çözünenin miktarına veya çözücü ve çözünen oranına göre derişik ve seyreltik çözeltiler olmak üzere ikiye ayrılır. İki farklı çözeltiden çözüneni az olan çözeltilere **seyreltik çözelti**, çözüneni çok olan çözeltilere **derişik çözelti** denir.

Seyreltik ve derişik çözelti kavramları, bağıl değerlerdir ve farklı çözeltilerin derişimlerini karşılaştırmak için kullanılır. Çözeltileri derişik ve seyreltik olarak ayırabilmek için aynı maddenin en az iki farklı çözeltisi gerekir. Örneğin NaCl tuzunun 25 °C'deki çözünürlüğü 38 g/100 g sudur. 100 g su ile farklı miktarlarda NaCl kullanılarak hazırlanan üç sulu çözelti Görsel 3.14'te verilmiştir.



Görsel 3.14: *25 °C'de NaCl'ün farklı derişimdeki sulu çözeltileri*

Görsel 3.14 incelendiğinde 25 °C'de 100 mL su; I. kapta 3 g, II. kapta 6 g, III. kapta 15 g NaCl tuzunu çözer. Bu çözeltilerden I. kaptaki çözelti en seyreltik, III. kaptaki çözelti en derişiktir. II. kaptaki çözelti ise I. kaptaki çözeltiye göre daha derişik, III. kaptaki çözeltiye göre daha seyreltiktir. Buna göre çözeltilerin seyreltikten derişiğe göre sıralaması I, II, III şeklindedir.

Çözünürlük, doymuş bir çözeltideki çözünen madde miktarıdır. Çözeltiler; çözünen maddenin çözünürlüğüne göre doygun, doymamış ve aşırı doygun olmak üzere üçe ayrılır.

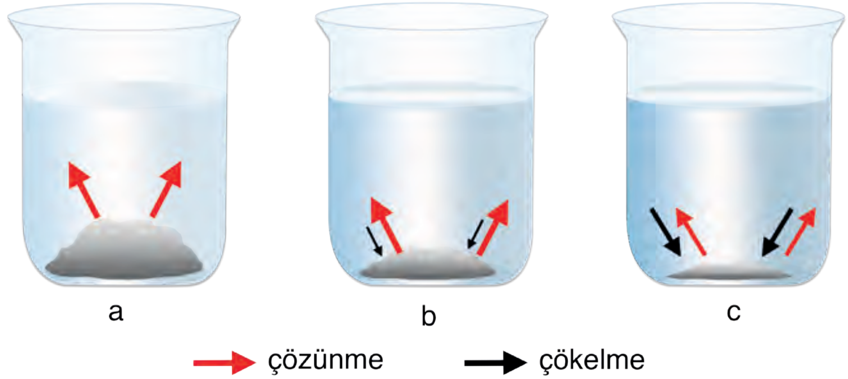
Doygun Çözeltiler

Belirli bir sıcaklık ve basınçta bir çözücünün çözebildiği en fazla madde miktarıyla oluşturduğu çözeltilere **doygun çözelti** denir. Örneğin $KClO_3$ tuzunun 25 °C'deki çözünürlüğü 12 g/100 g sudur. Bu tuzun 25 °C'de 100 g su ve 12 g $KClO_3$ kullanılarak hazırlanan 112 g çözeltisi doygun çözeltidir.

Aynı şekilde 25 °C'de 50 g su ve 6 g $KClO_3$ kullanılarak hazırlanan 56 g çözelti de doygun çözeltidir.

Doygun bir çözeltiye çözücü eklenmesi ya da çözeltinin sıcaklığının değiştirilmesi ile doymamış çözelti elde edilebilir. Aynı sıcaklıkta dibinde katı bulunan doygun çözeltilere katısıyla dengede olan doygun çözeltiler denir. Bu çözeltilerde, çözeltilerin içindeki çözünmüş maddelerin bir kısmı katı hâle geçerken dipteki katı maddelerin bir kısmı çözeltiye geçer.

Bu geçiş hızları birbirine eşitlendiğinde çözelti dengeye gelir ve doygun olur (Görsel 3.15).



Görsel 3.15: *Dipte katısı olan doygun çözelti oluşumu*

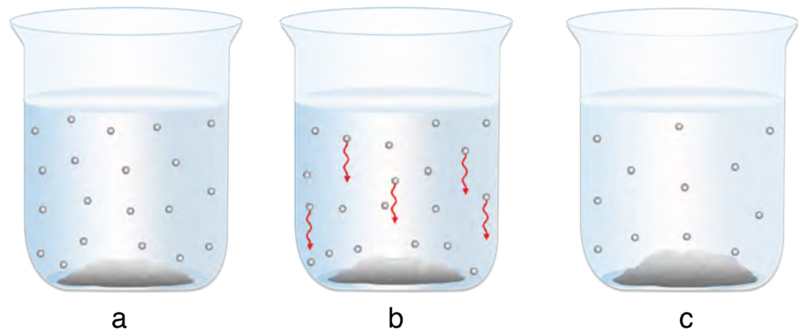
Doymamış Çözelti

Belirli bir sıcaklık ve basınçta bir çözücünün çözebildiği madde miktarından daha az madde miktarıyla oluşan çözeltilere **doymamış çözelti** denir. Doymamış çözeltiler, doymuş bir çözeltiden daha az çözünen içeren çözeltilerdir. Örneğin $KClO_3$ tuzunun 25 °C'deki çözünürlüğü 12 g/100 g sudur. Bu tuzun 25 °C'de 100 g su ve 8 g $KClO_3$ kullanılarak hazırlanan 108 g çözeltisi doymamıştır. Bu çözeltiye aynı sıcaklıkta 4 g daha $KClO_3$ tuzu eklenip çözülürse doymuş çözelti elde edilebilir.

Aşırı Doygun Çözelti

Belirli bir sıcaklık ve basınçta çözebildiği en fazla madde miktarını çözmüş olan doygun çözeltiler, çözünürlüğün daha az olduğu sıcaklık değerine getirildiğinde doymuşluğun üzerine çıkmış olur. Bu durum geçicidir ve bu tür çözeltiler kararsızdır. Böyle çözeltilere **aşırı doygun çözeltiler** denir. Aşırı doygun çözeltilerde fazla çözünmüş madde zamanla çözeltiden ayrılır. Bu ayrılma, çözelti doygun hâle gelinceye kadar devam eder. Çözüneni katı olan aşırı doygun çözeltilerde fazlalık olan çözünenin çözeltiden ayrılması katının dibe çökmesiyle olur. Çözüneni gaz olan aşırı doygun çözeltilerde fazlalık olan çözünenin çözeltiden ayrılması gaz çıkışı şeklinde olur.

Sıcak reçellerin soğuması sırasında şekerlenme gerçekleşmesi sıcak reçelin aşırı doygun çözelti olduğunu gösterir.



Görsel 3.16: *Aşırı doygun çözeltinin doygun hâle gelme süreci*

Görsel 3.16 incelendiğinde doygun çözeltinin (a) çözünürlüğü sıcaklık etkisiyle düşürüldüğünde kararsız olan aşırı doygun çözelti (b) oluşur. Aşırı doygun çözelti geçici olarak çözebileceğinden daha fazla çözünen içerir. Zamanla çözünenin bir kısmı çökerek çözelti tekrar doygun hâle gelir (c).

Laboratuvar deneylerinde, kütlece yüzde derişimden yararlanılarak sıvı-katı çözeltiler hazırlanırken bu katıların sudaki çözünürlükleri dikkate alınır. Çözeltide kullanılan çözücü ve çözünen miktarı çözünürlükten yararlanılarak hesaplanabilir.

Örnek

40 °C'de KNO_3 tuzunun çözünürlüğü 60 g/100 g sudur. 40 °C'de 300 g suyla hazırlanan doymuş çözelti kaç gramdır?

Çözüm

100 g su — 60 g KNO_3
300 g su — ?

$$? = \frac{300.60}{100} = 180 \text{ g } KNO_3 \Rightarrow \text{çözelti kütlesi } 300 \text{ g su} + 180 \text{ g } KNO_3 = 480 \text{ g}$$

Örnek

20 °C'de K_2SO_4 tuzunun çözünürlüğü 12 g/100 g sudur. 20 °C sıcaklıkta 400 g suda 42 g K_2SO_4 çözülerek hazırlanan çözelti doymuş mudur? Bu çözeltinin kütlece yüzde derişimi kaçtır?

Çözüm

100 g su — 12 g K_2SO_4
400 g su — ?

$$? = \frac{400.12}{100} = 48 \text{ g}$$

20 °C'de 400 g su 48 g K_2SO_4 ile doymuş hâle gelebilir. 400 g suda 42 g K_2SO_4 çözüldüğünden dolayı çözelti doymamıştır.

Kütlece yüzde derişim: $\frac{C}{100} = \frac{42}{442} \Rightarrow C \cong \%9,5$ olur.

Örnek

40 °C'deki KCl tuzunun çözünürlüğü 40 g/100 g sudur. Kütlece yüzde derişimi %20 olan 300 g çözeltinin doymuş olması için çözeltiye aynı sıcaklıkta kaç gram daha KCl ilave edilmelidir?

Çözüm

$\frac{20}{100} = \frac{m_{çözünen}}{300} \Rightarrow m_{çözünen} = 60$ g KCl

300 - 60 = 240 g su

100 g su	40 g KCl
240 g su	?

$? = \frac{240.40}{100} = 96$ g KCl

Çözeltide 60 g KCl çözündüğünden 96 - 60 = 36 g daha KCl ilave edilmelidir.

Örnek

30 °C'de bir A tuzunun kütlece %25'lik 40 g çözeltisini doyurmak için 2 g daha A tuzu çözmek gerekiyor. Bu tuzun 30 °C'deki çözünürlüğü kaç g A/100 g sudur?

Çözüm

$\frac{25}{100} = \frac{m_{çözünen}}{40} \Rightarrow m_{çözünen} = 10$ g A

40 - 10 = 30 g su $\Rightarrow$ bu çözeltinin doymuş hâle gelmesi için 2 g A eklendiğine göre 30 g suda 10 + 2 = 12 g A tuzu çözünmüştür.

30 g su	12 g A tuzu çözünürse
100 g su	?

$? = \frac{100.12}{30}$ = 40 g KCl olduğuna göre 30 °C'deki A tuzunun çözünürlüğü 40 g/100 g sudur.

Örnek

25 °C'de X tuzunun dibinde 5 g katı bulunan 315 g çözeltisine aynı sıcaklıkta dipteki X katısını tam olarak çözmek için 100 g su ekleniyor. Buna göre

a) 25 °C'de X tuzunun çözünürlüğü kaç g X/100 g sudur?

b) Çözeltide toplam kaç g X katısı vardır?

Çözüm

a) 5 gram X katısı 100 gram suda çözündüğünden

25 °C'de X tuzunun çözünürlüğü 5 g X/100 g sudur.

b) Başlangıçtaki çözelti, dibinde katı olduğu için doymuş çözeltidir. Dipteki 5 g X katısını tam olarak çözebilmek için 100 gram su gerektiğine göre

100 g su + 5 g X katısı = 105 g doymuş çözelti

105 g doymuş çözeltide 5 g X katısı bulunduğuna göre

315 g doymuş çözeltide ? g X katısı bulunur.

? = 15 g X katısı çözünmüştür (başlangıçta).

Çözeltide toplam 5 + 15 = 20 g X katısı vardır.

3.9. Alıştırma

10 °C'de $NaNO_3$ tuzunun çözünürlüğü 80 g/100 g sudur. Bu tuzun 10 °C'de hazırlanan kütlece %25'lik 400 g çözeltisini doyurmak için kaç g su buharlaştırılmalıdır?

3.10. Alıştırma

30 °C'de NH_4Cl tuzunun çözünürlüğü 40 g/100 g sudur. 30 °C'de hazırlanan kütlece %20'lik 200 g NH_4Cl çözeltisi ile 100 g su ile hazırlanan 4 molal NH_4Cl çözeltisi karıştırıldığında çözeltinin doymuş hâle gelmesi için kaç g NH_4Cl ilave edilmelidir? (NH_4Cl: 53,5)

3.11. Alıştırma

1 atm basınç altında 40 °C'de O_2 gazının çözünürlüğü 0,001 mol/L'dir. Buna göre 40 °C'de 0,64 g O_2 gazı ile kaç L çözelti hazırlanabilir? (O: 16)

5. BÖLÜM

ÇÖZÜNÜRLÜĞE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

- *Gazlı içecekler sıcak ortamda bekletildiğinde tatları neden değişir?*
- *Şeker pancarından şeker elde edilirken neden sıcak su kullanılır?*
- *Balık çiftlikleri neden soğuk yerlerde kurulur?*
- *Çayın içerisinde şeker çözüldüğünde çay soğur mu?*

3.5.1. Çözünürlüğün Sıcaklık ve Basınçla İlişkisi

Maddelerin çözünürlüğü sıcaklık, basınç ve ortak iyon derişim faktörlerine bağlıdır. Bu faktörler değiştiğinde çözünen maddenin çözücüde çözünme miktarı değişir. Katı, sıvı ve gazların çözünürlüklerini sıcaklık ve basınç farklı şekilde değiştirir. Örneğin suyun sıcaklığı arttıkça şekerin suda çözünürlüğü artarken oksijen gazının çözünürlüğü azalır. Basınç arttırıldığında şekerin çözünürlüğü değişmezken oksijen gazının çözünürlüğü artar.

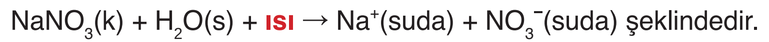
Bilgi Kutusu

Katılar, suda çoğunlukla endotermik olarak çözünür. Bu nedenle katıların çözünürlüğü genelde sıcaklıkla doğru orantılı değişir. Şeker pancarından şeker elde edilmesinde şekerin çözünürlüğünün sıcaklıkla doğru orantılı olmasından yararlanılır. Şeker pancarının üzerinden sıcak su geçirildiğinde şeker molekülleri çözünerek sıcak suya geçer.
Sıcak çayda şeker çözünürken çaydan ısı alır. Bu nedenle çayda şeker çözündüğünde çayın sıcaklığında düşme olur.

Tuzların Çözünürlüğünün Sıcaklıkla Değişimi

Çözünmesi endotermik (ısı alan) olan maddelerin çözünürlüğü sıcaklıkla doğru orantılı değişir. Çözünmesi ekzotermik (ısı veren) olan maddelerin çözünürlüğü sıcaklıkla ters orantılı değişir. Tuzların büyük bir kısmı suda çözünürken ısı alarak (endotermik), bir kısmı da ekzotermik olarak çözünür. Bu nedenle tuzların çözünürlüğü genellikle sıcaklıkla doğru orantılıdır. Bazı tuzların suda çözünürlüğü ise sıcaklıkla ters orantılıdır. Örneğin $NaNO_3$ tuzunun suda çözünmesi endotermik olarak gerçekleşirken Na_2SO_4 tuzunun suda çözünmesi ekzotermik olarak gerçekleşir.

$NaNO_3$ tuzunun suda çözünme denklemi



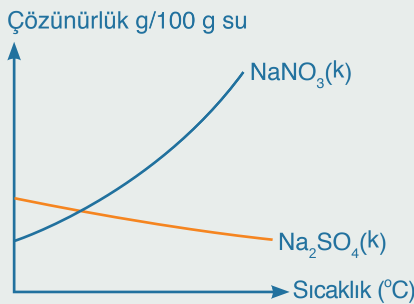
$NaNO_3(k) + H_2O(s) +$ **ısı** $\rightarrow Na^+(suda) + NO_3^-(suda)$ şeklindedir.

$NaNO_3$ tuzu suda çözünürken sudan ısı alarak çözünür. Çözünme sırasında çözeltinin sıcaklığında düşme olur. Çözeltinin dış etkilerle sıcaklığı arttırılırsa $NaNO_3$ tuzunun sudaki çözünürlüğü artar, sıcaklık azaldığında ise $NaNO_3$ tuzunun sudaki çözünürlüğü azalır.

Na_2SO_4 tuzunun suda çözünme denklemi

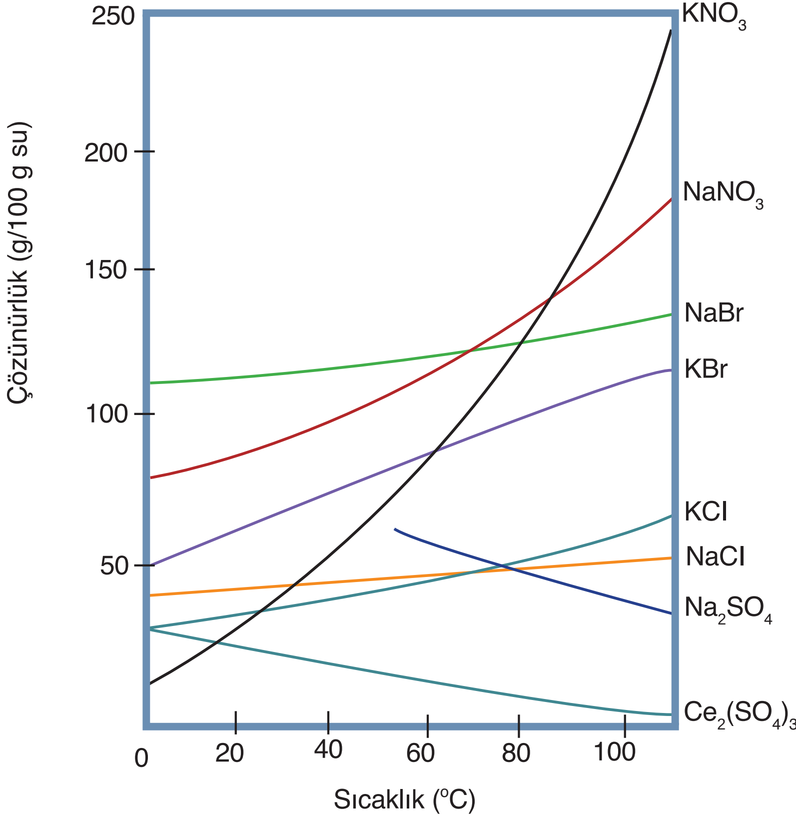
$Na_2SO_4 (k) + H_2O(s) \rightarrow 2Na^+(suda) + SO_4^{2-}(suda) +$ **ısı** şeklindedir.

Na_2SO_4 tuzu suda çözünürken suya ısı vererek çözünür. Çözünme sırasında çözeltinin sıcaklığında yükselme olur. Çözeltinin dış etkilerle sıcaklığı arttırılırsa Na_2SO_4 tuzunun sudaki çözünürlüğü azalır sıcaklık azaldığında sudaki çözünürlüğü artar (Grafik 3.4).



Grafik 3.4: *$NaNO_3$ ve Na_2SO_4 tuzlarının çözünürlüğünün sıcaklıkla değişimi*

Çözünürlüğün sıcaklığa bağlılığını gösteren eğriye **çözünürlük eğrisi** denir. Bu eğriye bakılarak maddelerin çözünürlüğünün sıcaklıkla nasıl değiştiği anlaşılır. Bazı tuzların sudaki çözünürlüğünün sıcaklıkla değişimini gösteren çözünürlük eğrileri Grafik 3.5'te verilmiştir.



***Grafik 3.5:** Bazı tuzların sıcaklıkla çözünürlüklerinin değişimini gösteren çözünürlük eğrisi*

Bilgi Kutusu

Tuzlar iyonik bileşiklerdir. İyonik bileşikler kristal örgü yapısına sahiptir. Kristal örgü yapısındaki etkileşim güçlü olduğu için iyonik bileşiklerin erime noktaları yüksektir. Bu nedenle iyonik bileşikler yani tuzlar standart koşullarda katı hâlde bulunurlar.
Bazı tuzların kristal örgü enerjileri ve erime noktaları aşağıdaki gibidir.

	Kristal Örgü Enerjisi (kJ/mol)	Erime Noktası (°C)
NaCl	788	801
KCl	699	772
CaO	3414	2580
NaBr	736	750

Grafik 3.5 incelendiğinde KNO_3, $NaNO_3$, NaBr, KBr, KCl, NaCl tuzlarının sudaki çözünürlüğünün sıcaklıkla arttığı, Na_2SO_4 ve $Ce_2(SO_4)_3$ tuzlarının sudaki çözünürlüğünün sıcaklıkla azaldığı anlaşılır. Buna göre KNO_3, $NaNO_3$, NaBr, KBr, KCl, NaCl tuzlarının suda çözünmesi ısı alarak, Na_2SO_4 ve $Ce_2(SO_4)_3$ tuzlarının çözünmesi ise ısı vererek gerçekleşir.

Tuzların Farklı Sıcaklıklardaki Çözünürlükleri ile İlgili Hesaplamalar

Belli bir sıcaklıkta hazırlanan doymuş tuz çözeltisinin sıcaklığı değiştirildiğinde, belirli sıcaklıklardaki çözünürlüklerden yararlanarak çözeltide kaç gram maddenin kristalleşeceği veya kaç gram tuzun daha çözünebileceği hesaplanabilir.

Örnek

$KClO_3$ tuzunun 30 °C'de çözünürlüğü 10 g/100 g su, 50 °C'de çözünürlüğü 18 g/100 g sudur. $KClO_3$ tuzunun 50 °C'de 300 g su ile hazırlanmış doymuş çözeltisi 30 °C'ye soğutulursa kaç g $KClO_3$ kristallenerek çöker?

Çözüm

50 °C'de 100 g su — 18 g $KClO_3$ ile doymuş hâle gelir.
300 g su — ?

$$? = \frac{300.18}{100} = 54 \text{ g } KClO_3$$

30 °C'de 100 g su — 10 g $KClO_3$ ile doymuş hâle gelir.
300 g su — ?

$$? = \frac{300.10}{100} = 30 \text{ g } KClO_3$$

54 - 30 = 24 g $KClO_3$ tuzu kristallenerek çöker.

Örnek

KNO_3 tuzunun çözünürlüğü; 20 °C'de 32 g/100 g su, 40 °C'de 60 g /100 g sudur. 20 °C'de hazırlanan 330 g doygun KNO_3 çözeltisi 40 °C'ye ısıtıldığında çözeltinin doygun hâle gelebilmesi için kaç gram daha KNO_3 tuzu ilave edilmelidir?

Çözüm

20 °C'de 132 g doygun çözelti — 100 g su
330 g doygun çözelti — ?

$$? = \frac{330.100}{132} = 250 \text{ g su}$$

330 - 250 = 80 g KNO_3 tuzu

40 °C'de 100 g su — 60 g KNO_3 ile doymuş hâle gelir.
250 g su — ?

$$? = \frac{250.60}{100} = 150 \text{ g } KNO_3 \text{ çözebilir.}$$

40 °C'de çözeltinin doygun hâle gelebilmesi için 150 - 80 = 70 g KNO_3 ilave edilmelidir.

Örnek

Yan tarafta NH_4Cl tuzunun sıcaklık–çözünürlük grafiği verilmiştir. Grafiğe göre

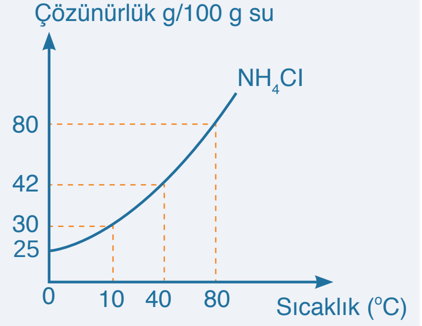
a) NH_4Cl tuzu suda çözünürken çözeltinin sıcaklığında nasıl bir değişme olur?

b) 40 °C'de hazırlanan 284 g doymuş NH_4Cl çözeltisi 10 °C'ye soğutulduğunda kristallenen NH_4Cl tuzunu 10 °C'de tamamen çözebilmek için çözeltiye kaç g su ilave edilmelidir?

c) 40 °C'de 50 g su ile hazırlanan doymuş NH_4Cl çözelti 80 °C'ye ısıtıldığında çözeltinin doymuş olabilmesi için çözeltiden kaç gram su buharlaştırılmalıdır?

ç) 80 °C'de 150 g su ve 2 mol NH_4Cl içeren çözelti 40 °C'ye soğutulduğunda kaç g NH_4Cl kristallenerek çöker? (NH_4Cl: 53,5)

d) 0 °C'de bulunan doymuş NH_4Cl çözeltisi 80 °C'ye ısıtıldığında çözeltinin tekrar doymuş hâle gelmesi için çözeltiye 11 g NH_4Cl ilave edildiğine göre 80 °C'de oluşan doymuş çözeltinin kütlesi kaç gram olur?



Çözüm

a) NH_4Cl tuzunun sudaki çözünürlüğü sıcaklıkla doğru orantılı olduğu için NH_4Cl'ün çözünmesi, ısı alan (endotermik) bir olaydır. Bu nedenle NH_4Cl tuzu suda çözünürken sudan ısı alacağından suyun sıcaklığında azalma olur.

b) 40 °C'de

40 °C'de	142 g doygun çözelti	100 g su
	284 g doygun çözelti	?

$$? = \frac{284.100}{142} = 200 \text{ g su}$$

284 - 200 = 84 g NH_4Cl tuzu

10 °C'de	100 g su	30 g NH_4Cl
	200 g su	?

$$? = \frac{200.30}{100} = 60 \text{ g } NH_4Cl$$

84 - 60 = 24 g NH_4Cl kristallenir.

10 °C'de kristallenen 24 g NH_4Cl tuzunu çözmek için

100 g su	30 g NH_4Cl
?	24 g NH_4Cl

$$? = \frac{100.24}{30} = 80 \text{ g su gerekir.}$$

c) 40 °C'de 100 g su 42 g NH_4Cl

50 g su ?

$$? = \frac{50.42}{100} = 21 \text{ g } NH_4Cl$$

80 °C'de 100 g su 80 g NH_4Cl

? 21 g NH_4Cl

$$? = \frac{100.21}{86} = 26{,}25 \text{ g su gerekir.}$$

Çözeltinin 80 °C'de tekrar doymuş olabilmesi için 50 - 26,25 = 23,75 g su buharlaştırılmalıdır.

ç) 80 °C'de 100 g su 80 g NH_4Cl

150 g su ?

$$? = \frac{150.80}{100} = 120 \text{ g } NH_4Cl \text{ ile doymuş hâle gelir.}$$

Bu nedenle 150 g su ve 2 mol NH_4Cl = 2.53,5 = 107 g NH_4Cl içeren çözelti doymamıştır.

40 °C'de 100 g su 42 g NH_4Cl

150 g su ?

$$? = \frac{150.42}{100} = 63 \text{ g } NH_4Cl \text{ çözebilir.}$$

Bu nedenle 107 - 63 = 44 g NH_4Cl tuzu kristallenerek çöker.

d) NH_4Cl tuzunun çözünürlüğü 0 °C'de 25 g/100 g su, 80 °C'de 80 g/100 g sudur.
Buna göre 0 °C'den 80 °C'ye ısıtılan 100 g su içeren doymuş çözeltinin tekrar doymuş olabilmesi için 80 - 25 = 55 g NH_4Cl ilave edilmesi gerekir.

100 g su için 55 g ilave edilirse

? 11 g

$$? = \frac{100.11}{55} = 20 \text{ g su}$$

80 °C'de 100 g su 80 g NH_4Cl

20 g su ?

$$? = \frac{20.80}{100} = 16 \text{ g } NH_4Cl$$

80 °C'de 20 + 16 = 36 g doymuş çözelti oluşur.

Örnek

X tuzunun t_1 sıcaklığındaki çözünürlüğü 24 g X/100 g sudur.
t_2 sıcaklığındaki çözünürlüğü 36 g X/100 g sudur.
Buna göre

a) t_2 sıcaklığında hazırlanan 408 g doymuş çözeltinin sıcaklığı, t_1 sıcaklığına getirilirse kaç g X tuzu çöker?

b) $t_2 > t_1$ olduğuna göre X tuzunun çözünmesi, endotermik mi yoksa ekzotermik midir?

Çözüm

a) t_2 sıcaklığındaki çözünürlüğü 36 g X/100 g sudur.

100 g su 36 g tuz çözebilir ve 136 g doymuş çözelti oluşur.

X g Y g 408 g doymuş çözelti oluşur.

X = 300 g su Y= 108 g tuz

t_1 sıcaklığındaki çözünürlüğü 24 g X/100 g sudur.

100 g su 24 g tuz çözebilir.

300 g su 72 g tuz çözebilir. 108 - 72 = 36 g tuz çöker.

b) $t_2 > t_1$ olduğuna göre sıcaklık artınca çözünürlük arttığına göre endotermik çözünmedir.

3.2 UYGULAMA SORULARI

Aşağıdaki soruları cevaplayınız.

1. KBr tuzunun çözünürlüğü 20 °C'de 60 g/100 g su, 60 °C'de 80 g/100 g sudur. Buna göre

a) KBr tuzu suda çözündüğünde çözeltinin sıcaklığı nasıl değişir?

b) 20 °C'de 200 g su ile hazırlanan doymuş çözelti 60 °C'ye ısıtıldığında çözeltinin tekrar doymuş hâle gelebilmesi için çözeltiye kaç gram KBr tuzu ilave edilmelidir?

c) 60 °C'de 1 mol KBr 150 g suda çözülüyor. Bu çözelti 20 °C'ye soğutulursa kaç gram KBr kristallenerek çöker? (KBr: 119)

ç) 20 °C'de 400 g su ile hazırlanan doymuş çözeltinin molalitesi kaçtır?

2. Bir tuzun 25 °C'de çözünürlüğü 25 g/100 g sudur. Bu tuzun aynı sıcaklıktaki doymuş çözeltisine çözelti kütlesi kadar su eklendiğinde oluşan çözeltinin kütlece yüzde derişimi kaç olur?

ETKİNLİK 3.3

Etkinliğin Adı: Tuzların Sudaki Çözünürlüğüne Sıcaklığın Etkisi

Etkinliğin Amacı: Tuzların sudaki çözünürlüğüne sıcaklığın etkisini incelemek

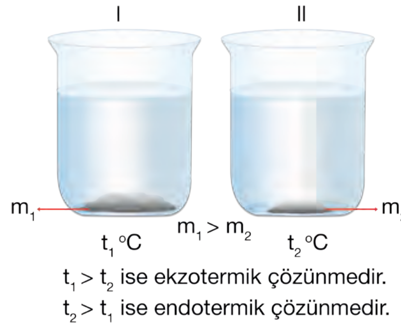
Etkinliğin Süresi: 40 dakika

Araç ve Gereçler

- 2 adet 200 mL beher
- Saf su
- $NaNO_3$
- Spatül
- Terazi
- Termometre
- Süzgeç kâğıdı
- Huni

Uygulama Aşamaları

1. 200 mL beheri tartarak tartım sonucunu not ediniz.
2. 200 mL bir behere 100 mL saf su koyunuz ve suyun sıcaklığını ölçerek sıcaklığı not ediniz.
3. 122 g $NaNO_3$ katısını tartarak katının üzerine 100 mL saf su ekleyiniz. Çözeltiyi bir süre karıştırarak $NaNO_3$ katısının suda çözünmesini sağlayınız.
4. Dipteki katıyı çözeltiden ayırmak için çözeltiyi süzünüz.
5. Süzdüğünüz çözeltiyi tartınız. Tartım sonucundan beherin kütlesini çıkartarak çözeltinin kütlesini bulunuz.
6. Bulduğunuz çözelti kütlesinden de su kütlesini (100 g) çıkartarak 100 mL suda çözünen $NaNO_3$ miktarını bulunuz.
7. Bulduğunuz sonuçlardan yararlanarak $NaNO_3$'ın ilk sıcaklıktaki çözünürlüğünü hesaplayınız.
8. Süzdüğünüz katıyı çözeltiye ilave ediniz. Oluşan karışımı bek alevinde katının tamamı çözününceye kadar ısıtınız. Isıtma esnasında karışımı yavaş yavaş karıştırınız. Termometre ile sıcaklığı kontrol ediniz. Katının tamamen çözündüğü andaki sıcaklık değerini termometreden okuyarak not ediniz.
9. Katının tamamının çözündüğü sıcaklıktaki $NaNO_3$ tuzunun çözünürlüğünü hesaplayınız.
10. İlk ve son sıcaklıkta hesapladığınız çözünürlük değerlerini karşılaştırarak $NaNO_3$ tuzunun çözünürlüğünün sıcaklıkla nasıl değiştiğini yorumlayınız.



$t_1 > t_2$ ise ekzotermik çözünmedir.
$t_2 > t_1$ ise endotermik çözünmedir.

Etkinliğin Değerlendirilmesi

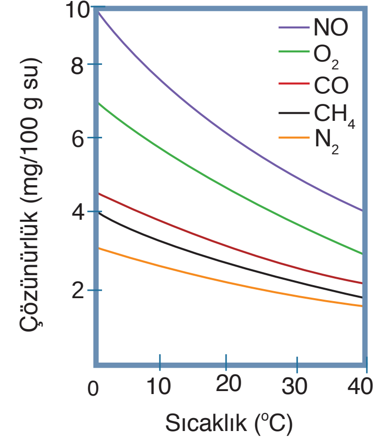
Katıların çözünürlüğü sıcaklıktan nasıl etkilenir? $NaNO_3$ tuzunun suda çözünmesi olayının, ekzotermik veya endotermik olduğunu belirtiniz.

Gazların Çözünürlüğünün Sıcaklık ve Basınçla Değişimi

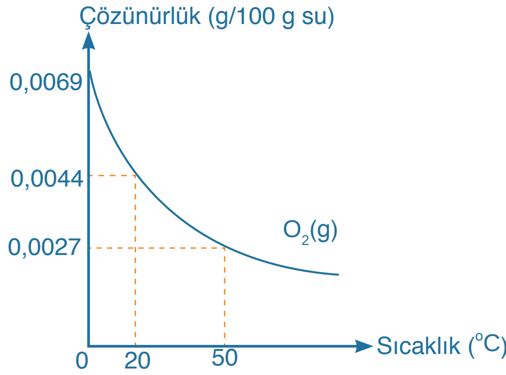
Balıklar, sudaki çözünmüş oksijen gazıyla solunum yapar. Sudaki oksijen molekülleri su ile indüklenmiş dipol-dipol etkileşimi yaparak suda çözünür. Fakat bu çözünme az miktardadır. Örneğin 1 atmosfer basınç altında 20 °C'de 100 g suda 0,0044 g oksijen gazı çözünür.

Gaz molekülleri arasındaki çekim kuvvetleri yok denecek kadar azdır. Düşük sıcaklıklarda gaz moleküllerinin kinetik enerjisi azalır ve su molekülleri ile etkileşim yapma isteği artar. Gazlar, suda çözündüğünde su molekülleri ile gaz molekülleri arasında etkileşim oluşur ve ısı açığa çıkar. Bu nedenle gazların suda çözünmesi ısı vererek gerçekleşir.

Suda çözünmesi ekzotermik olan gazların çözünürlüğü sıcaklıkla ters orantılı değişir. Gazların sıcaklık arttıkça çözünürlüğü azalır, sıcaklık azaldıkça çözünürlüğü artar. Gazların farklı sıcaklıklardaki çözünürlüğündeki azalma miktarı gazın türüne göre değişir (Grafik 3.6).



Grafik 3.6: *Bazı gazların sudaki çözünürlüğünün sıcaklıkla değişimi*



Grafik 3.7: *Oksijen gazının sudaki çözünürlüğünün sıcaklıkla değişimi*

Bilgi Kutusu

Gazların sudaki çözünürlüğü sıcaklık arttıkça azalırken organik çözücülerdeki çözünürlükleri için bu durumun tersi geçerli olup gazların organik çözücülerde çözünürlüğü sıcaklık arttıkça artar.

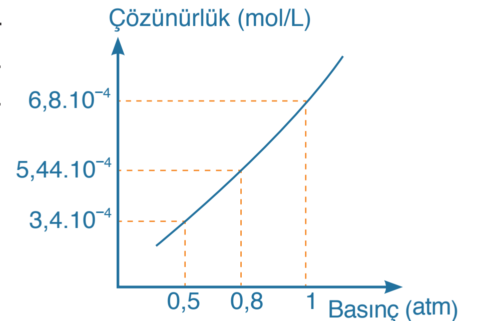
Grafik 3.7 incelendiğinde oksijen gazının 100 g suda çözünürlüğü 0 °C'de 0,0069 g O_2, 20 °C'de 0,0044g O_2, 50 °C'de 0,0027 g O_2 olduğu görülür. Bu durumda oksijen gazının sudaki çözünürlüğü, sıcaklık arttıkça azalır.

Balıklar sıcak denizlerden soğuk denizlere doğru göç eder. Balık çiftlikleri kurulurken soğuk sular tercih edilir. Bunların nedeni oksijen gazının düşük sıcaklıklarda suda daha çok çözünmesidir.

Gazlı içecek şişeleri üzerinde "Soğuk içiniz." ifadesi bulunur. Bir gazlı içecek olan gazozda, çözünmüş karbon dioksit gazı bulunur. Karbon dioksit gazı suda karbonik asit oluşturarak çözünür. Soğuk ortamda karbondioksit gazı suda daha iyi çözündüğünden gazozun asitliği artar. Sıcakta bırakılan gazlı içeceklerde karbon dioksitin çözünürlüğü azalarak karbon dioksit sudan ayrılır. Bu nedenle bu içeceklerin kapağı açıldığında karbon dioksit gazı çıkışı olur ve içeceğin asitliği azalır.

Katı ve sıvıların sudaki çözünürlüğü basınçla değişmez. Gazların çözünürlüğü basınçla doğru orantılı olarak artar. Bir gazın bir sıvı içindeki çözünürlüğüne basıncın etkisi, sıcaklığın etkisinden çok daha fazladır.

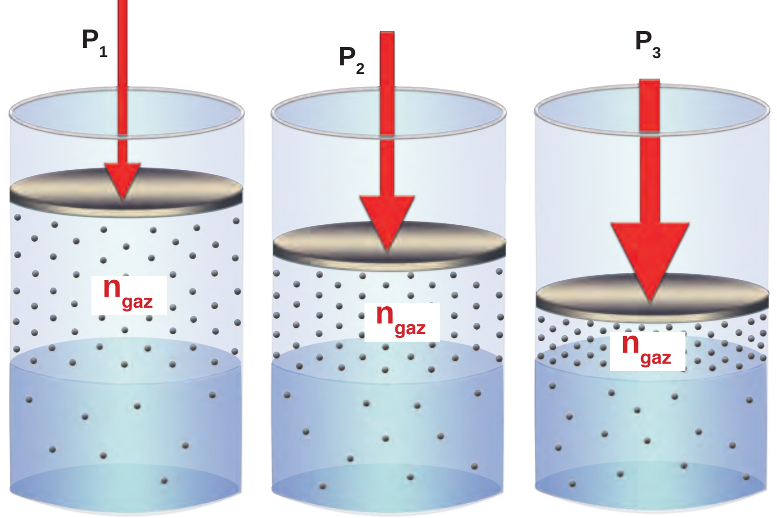
Grafik 3.8 incelendiğinde 25 °C'de azot gazının çözünürlüğünün basınçla doğru orantılı olarak değiştiği görülür.



Grafik 3.8: *Azot gazının 25 °C'de çözünürlüğünün basınçla değişimi*

İngiliz kimyacı Henry (Henri) bir gazın çözünürlüğünün gazın kısmi basıncıyla doğru orantılı olarak arttığını ifade etmiştir. Buna **Henry Yasası** denir.

Henry Yasası'na göre doymuş bir çözeltide, gaz moleküllerinin çözeltiden ayrılma ve çözeltide çözünme hızları birbirine eşittir. Bu hızların her ikisi de birim hacimdeki molekül sayısına bağlıdır. Sistemdeki artan basınçla birlikte gaz fazında birim hacimdeki molekül sayısı artarken çözeltinin birim hacmindeki molekül sayısı da artar (Görsel 3.17).



Görsel 3.17: *Gazların basınç artışı ile çözünürlüğünün artışı (Henry Yasası)*

Gazlı içecekler, yüksek basınç altında karbon dioksit gazının suda çözünmesiyle elde edilir. Gazlı içeceklerin kapakları açıldığında içeceğin üzerindeki yüksek basınç düşer. Basıncın düşmesi ile içeceğin içinde çözünmüş olan karbon dioksitin çözünürlüğü azalır. Böylece karbon dioksit gaz kabarcıkları oluşturarak içecekten ayrılır. Bu olay Henry Yasası ile ilişkilendirilebilir.

Denizlerin derin kısımlarında balık türü ve sayısının çok olmasının nedeni oksijen gazının yüksek basınç altında sudaki çözünürlüğünün artmasıdır. Ayrıca derinlere inildikçe suyun sıcaklığı azaldığı için soğukta oksijen gazı suda daha fazla çözünür.

Dalgıçlıkta görülen vurgun olayı Henry Yasası'na bir örnektir. Dalgıçların, suyun altında nefes alabilmeleri için yanlarında hava tüpü taşımaları ve su altında kaldıkları süre boyunca tüpteki bu basınçlı havayı solumaları gerekir (Görsel 3.18).

Görsel 3.18: *Dalgıçların tüple dalışı*

Derinlere inildikçe sıvı basıncı arttığından dalgıçların soluduğu havada bulunan azot gazı yüksek basıncın etkisiyle kanda çözünür.

Derinden deniz yüzeyine doğru çok hızlı çıkıldığında sıvı basıncı aniden düşer ve kanda çözünmüş azotun çözünürlüğü azalır. Çözünürlüğü azalan azot, kabarcık oluşturarak gaz hâline geçer. Oluşan gaz kabarcıkları kan dolaşımını engelleyerek damarların çatlamasına neden olur. Bu durum eklem, kol ve bacaklarda ağrı yapar ve vücudun sinir sistemini etkiler.

Örnek

0 °C'de ve 1 atm basınçta oksijen gazının sudaki çözünürlüğü $2{,}18.10^{-3}$ mol/L'dir. Oksijen gazının aynı sıcaklıkta 0,5 atm basınçta sudaki çözünürlüğü kaç mol/L'dir?

Çözüm

Gazların çözünürlüğü kısmi basınçları ile doğru orantılıdır.

Buna göre

1 atm basınçta O_2 gazının çözünürlüğü $2{,}18.10^{-3}$ mol/L

0,5 atm basınçta O_2 gazının çözünürlüğü x

$x = 0{,}5.2{,}18.10^{-3} = 1{,}09.10^{-3}$ mol/L dir.

Örnek

Karbon dioksit gazının bazı basınç ve sıcaklık şartlarında çözünürlük değerleri yan tarafta verilmiştir.
Tablodaki verilere göre karbon dioksit gazının farklı koşullardaki çözünürlüklerini büyükten küçüğe sıralayınız.

Koşul	Basınç (atm)	Sıcaklık (°C)	Çözünürlük (g/100 g su)
A	1	15	C_1
B	2	10	C_2
C	0,5	20	C_3

Çözüm

Gazların sudaki çözünürlüğü basınçla doğru, sıcaklıkla ters orantılıdır. Buna göre B koşulunda basınç en yüksek, sıcaklık en düşük olduğundan gazların çözünürlüğü en fazladır. A koşulunda ise C koşuluna göre basınç yüksek sıcaklık düşüktür. Buna göre karbon dioksit gazının sudaki çözünürlüğü $C_2 > C_1 > C_3$ şeklindedir.

ETKİNLİK 3.4

Etkinliğin Adı: **Gazozdaki Karbon dioksitin Çözünürlüğünün Sıcaklıkla Değişimi**

Etkinliğin Amacı: Gazların suda çözünürlüğünün sıcaklıkla değişimini gözlemlemek

Etkinliğin Süresi: 40 dakika

Araç ve Gereçler

- 2 adet 500 mL beher
- Saf su
- 2 şişe gazoz
- Bunzen beki veya ispirto ocağı
- Termometre
- 2 adet cam bardak
- pH metre
- Buz

Uygulama Aşamaları

1. Buzdolabında bekletilmiş 2 şişe gazoz alınız ve gazozların kapaklarını açınız.
2. Her iki şişedeki gazozun pH değerini ölçerek not ediniz.
3. 500 mL'lik bir beherin yarısına kadar su ekleyip üzerine bir miktar buz koyunuz.
4. 500 mL'lik başka bir behere 200 mL su koyunuz.
5. Gazoz şişesinin birini buzlu suyun içine daldırarak soğumasını sağlayınız. Diğer gazoz şişesini 200 mL'lik suyun içine daldırarak beherdeki suyu 50 °C'ye kadar ısıtınız.
6. Her iki gazozda oluşan kabarcıkları gözlemleyiniz.
7. Gazoz şişelerini beherlerden çıkarınız. Aynı anda iki boş bardağa şişelerdeki gazozlardan ayrı ayrı dökünüz. Bu sırada bardaklarda kabarcık oluşumunu gözlemleyiniz.
8. Bardaklara konulan gazozların pH değerlerini ölçerek not ediniz.
9. Soğutulmuş ve ısıtılmış gazozlardaki pH değerlerinin değişimini yorumlayınız.

Etkinliğin Değerlendirilmesi

Karbon dioksit gazının sıcaklıkla çözünürlüğünün değişimi, kabarcık oluşumu gözlemlenerek ya da çözeltilerin pH değerleri ölçülerek yorumlanabilir. Gazların sudaki çözünürlüğünün sıcaklıkla nasıl değiştiğini açıklayınız.

Çözünürlüğün Sıcaklık ve Basınçla İlişkisinin Elektronik Tablolama Programı Kullanılarak Kurgulanması

Maddelerin çözünürlüklerine sıcaklık ve basıncın etkisi farklılık gösterir. Sıcaklık ve basıncın çözünürlüğe etkisi elektronik tablolama programına veriler girilerek incelenebilir. Farklı sıcaklık ve basınçtaki çözünürlük değerlerinden elektronik tablolama ile grafik çizilerek de çözünürlüğün basınç ve sıcaklıkla değişimi yorumlanabilir.

- Tablo 3.4'te $CuSO_4$ tuzunun farklı sıcaklıklardaki çözünürlük değerleri verilmiştir.

$CuSO_4$ tuzunun çözünürlük-sıcaklık değişimiyle ilgili tablodaki verileri elektronik tablolama programında kullanınız. Değerlerin değişmesiyle gerçekleşen değişiklikleri gözlemleyerek yorumlayınız.

***Tablo 3.4:** $CuSO_4$ Tuzunun Sıcaklık-Çözünürlük İlişkisi*

Sıcaklık (°C)	Çözünürlük (g/100 g su)
0	14,3
10	17,4
20	20,7
30	25
40	28,5
50	33,3
60	40

- Tablo 3.5'te CH_4 gazının 1 atm basınç altında farklı sıcaklıklardaki çözünürlük değerleri verilmiştir.

CH_4 gazının çözünürlük-sıcaklık değişimiyle ilgili tablodaki verileri elektronik tablolama programında kullanınız. Değerlerin değişmesiyle gerçekleşen değişiklikleri gözlemleyerek yorumlayınız.

***Tablo 3.5:** CH_4 Gazının 1 Atm Basınç Altında Sıcaklık-Çözünürlük İlişkisi*

Sıcaklık (°C)	Çözünürlük (mg/100 g su)
0	4
10	3
20	2,2
30	2
40	1,9
50	1,8

- Tablo 3.6'da CH_4 gazının 25 °C'de farklı basınçlardaki çözünürlük değerleri verilmiştir.

CH_4 gazının çözünürlük-basınç değişimiyle ile ilgili tablodaki verileri elektronik tablolama programında kullanınız. Değerlerin değişmesiyle gerçekleşen değişiklikleri gözlemleyerek yorumlayınız.

***Tablo 3.6:** CH_4 Gazının 25 °C'de Farklı Basınçlardaki Sıcaklık-Çözünürlük İlişkisi*

Basınç (atm)	Çözünürlük (mol/L)
0,5	$6,5.10^{-4}$
0,75	$9,75.10^{-4}$
1	$1,3.10^{-3}$
1,25	$1,625.10^{-3}$
1,5	$1,95.10^{-3}$
1,75	$2,275.10^{-3}$

3. ÜNİTE ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A **Aşağıda verilen bilgilere göre soruları cevaplandırınız.**

ÇÖZELTİLERDE DERİŞİM

Belli bir miktar çözelti veya çözücüde çözünmüş olan madde miktarına **derişim (konsantrasyon)** denir. Laboratuvar çalışmalarında çözeltiler için hangi derişim biriminin seçileceği yapılacak çalışmanın amacına bağlıdır. Farklı çözeltiler hazırlanırken çözücü ve çözünenin türü, çözelti derişiminin sıcaklıkla değişmesi gibi faktörler dikkate alınarak farklı derişim birimleri kullanılabilir. Çözeltilerde çözünen miktarını ifade eden ve yaygın kullanılan derişim türleri; kütlece yüzde derişim, hacimce yüzde derişim, mol kesri, molarite ve molalitedir.

Buna göre 40 mL etanol (C_2H_5OH) ile 60 mL su karıştırılarak çözelti oluşturuluyor. Oluşan çözeltinin etanol için aşağıdaki derişim değerlerini hesaplayınız.

(d_{su} = 1 g/mL, d_{etanol} = 0,8 g/mL, H_2O:18, C_2H_5OH:46)

1. Hacimce yüzde derişimi

2. Kütlece yüzde derişimi

3. Mol kesri

4. Molarite

5. Molalite

B **Aşağıdaki kavramlar ile ilgili verilen bilgileri doğru (D) ya da yanlış (Y) olarak belirtiniz. Yanlış ise nedenini yazınız.**

	Kavramlar	D/Y	Yanlış ise Nedenini Yazınız
6.	**Çözücü çözünen etkileşimleri**		
a)	Bütün katıların suda çözünmesi endotermik olarak gerçekleşir.		
b)	Polar moleküller arasında dipol-dipol etkileşimleri oluşur.		
c)	Çözücü ile çözünen arasında etkileşim oluştuğunda ortamdan ısı alınır.		
ç)	Moleküler bileşikler suda genelde iyonlaşarak çözünür.		
7.	**Derişim birimleri**		
a)	Kütlece %20'lik tuz çözeltisinde 100 g suda 20 g tuz çözünmüştür.		
b)	Hacimce yüzde derişim genelde sıvı-sıvı çözeltiler için kullanılır.		
c)	ppm çözünen miktarı çok fazla olan çözeltilerde kullanılan derişim birimidir.		
ç)	Çözeltideki karışımı oluşturan bileşenlerin mol kesirleri toplamı 1'dir.		
8.	**Koligatif özellikler**		
a)	Osmoz olayı koligatif özelliktir.		
b)	Şekerli suyun buhar basıncı aynı sıcaklıkta saf suyunkinden yüksektir.		
c)	Saf suda tuz çözününce çözeltinin kaynama noktası yükselir.		
9.	**Çözünürlük**		
a)	Doygun bir çözeltiye çözünen eklendiğinde çözeltinin derişimi artar.		
b)	Aşırı doygun çözeltiler kararsızdır.		
c)	Doymamış çözeltiye çözücü eklendiğinde çözelti derişimi azalır.		
10.	**Çözünürlüğe etki eden faktörler**		
a)	Dış basıncın fazla olduğu ortamda, yemek tuzu suda daha fazla çözünebilir.		
b)	Katıların çözünürlüğü sıcaklıkla doğru ya da ters orantılı olarak değişir.		
c)	Gazlar suda çözündüğünde suyun sıcaklığında yükselme gerçekleşir.		
ç)	Suyun sıcaklığı arttıkça suyun çözebileceği karbon dioksit gazı miktarı artar.		

C Aşağıdaki kutularda verilen ifadelerden uygun olanları boşluklara yazınız.

2	dipol-dipol	hidrojen	1
doygun	iyon-dipol	molarite	endotermik
0,4	aşırı doygun	ekzotermik	ppm
0,1	koligatif	ters	doğru

11. KCl suda çözündüğünde su molekülleri ile KCl arasında .... etkileşimi oluşur.

12. Gazların suda çözünmesi .... olaydır.

13. Çok az miktarda çözünen içeren çözeltilerin derişimi .... olarak hesaplanır.

14. Bir litre çözeltide çözünen maddenin mol sayısına .... denir.

15. Sabit sıcaklıkta kararsız olup kristallenmelerin görüldüğü çözeltiler .... çözeltilerdir.

16. Çözeltilerin derişimine bağlı olan özelliklerine .... özellikler denir.

17. 0,2 mol tuzun suda çözünmesi ile hazırlanan 200 mL çözeltinin derişimi .... molardır.

18. Çözünmesi ekzotermik olan bir maddenin doymamış çözeltisi yeterince ısıtıldığında çözelti .... hâle gelir.

19. Gazların çözünürlüğü basınçla .... orantılı değişir.

20. 0,2 mol glikozun 500 mL suda çözünmesiyle oluşan çözeltinin derişimi .... molaldir.

Ç Aşağıdaki açık uçlu soruları cevaplayınız.

21. Aşağıdaki kimyasal türler arasındaki zayıf etkileşimleri ve birbiri içerisinde çözünüp çözünmeyeceğini yazınız.

Kimyasal Türler	Zayıf Etkileşimler	Çözünür veya Çözünmez
C_6H_6 - CCl_4		
O_2 - H_2O		
C_2H_5OH - H_2O		
N_2 - O_2		
$C_6H_{12}O_6$ - H_2O		
N_2 - H_2O		
H_2S - NH_3		
KCl - H_2O		

22. Aşağıda verilen kavramları birer örnek vererek kısaca açıklayınız.

a) Polar molekül

b) Apolar molekül

c) Dipol-dipol etkileşimi

ç) London kuvvetleri

23. Derişim nedir? Aşağıda verilen derişim birimlerini açıklayınız.

a) Kütlece yüzde derişim

b) Hacimce yüzde derişim

c) ppm

ç) Mol kesri

d) Molarite

e) Molalite

24. Kütlece %20'lik NaCl çözeltisi hazırlamak için 8 g NaCl kaç g suda çözünmelidir?

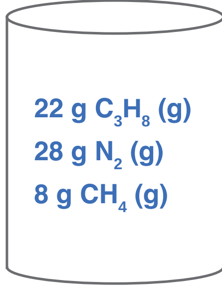
25. Kütlece %40'lık X tuzu çözeltisi ile kütlece %60'lık X tuzu çözeltisinden kaçar gram karıştırılırsa 800 g kütlece %45'lik X tuzu çözeltisi elde edilir?

26. Hacimce %30'luk etil alkol çözeltisinin 250 mililitresinde kaç mililitre su vardır?

27. Kütlece %15'lik 200 g KBr çözeltisi ile kütlece %10'luk 250 g KBr çözeltisi karıştırıldıktan sonra üzerine 5 g KBr ile 145 gram su ekleniyor. Buna göre son durumda oluşan çözelti kütlece % kaçlık olur?

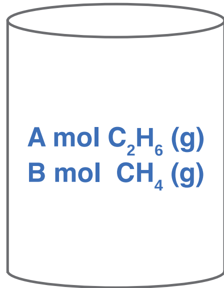
28. 250 mililitrelik çeşme suyu örneğinde 1 miligram Mg^{2+} iyonu bulunuyor. Bu çeşme suyu örneğindeki Mg^{2+} derişimi kaç ppm'dir? ($d_{çeşme\ suyu}$= 1 g/mL)

29.



Yandaki kapta bulunan her bir gazın mol kesrini hesaplayınız. (H:1, C:12, N:14)

30.



Yandaki kapta toplam 6 mol gaz varken CH_4 gazının mol kesri $X_{CH_4} = \frac{1}{4}$ olduğuna göre kapta

a) Kaç gram CH_4 gazı vardır?

b) C_2H_6 gazının mol kesri kaçtır?

c) Kaç gram C_2H_6 gazı vardır? (H:1, C:12)

31. 29 gram $X(OH)_2$ kullanılarak hazırlanan 250 mililitrelik sulu çözeltinin derişimi 2 M'dır. Buna göre bileşikteki X elementinin atom kütlesi kaçtır? (H:1, O:16)

32. 11,7 gram $Al_2(CO_3)_3$ suda çözünerek 500 mililitre çözelti hazırlanıyor. Buna göre çözeltideki toplam iyon derişimi kaç molardır? (C:12, O:16, Al:27)

33. 0,4 molar 2 litre H_2SO_4 çözeltisine 4,6 gram Na metali atılarak

$H_2SO_4(suda) + 2Na(k) \rightarrow Na_2SO_4(suda) + H_2(g)$ tepkimesi gerçekleşiyor. Tepkime sonunda çözeltinin hacmi değişmiyor. Buna göre çözeltideki H^+ iyon derişimi kaç molardır? (Na:23)

34. X molar 200 mL $NaNO_3$ çözeltisi ile aynı sıcaklıktaki 0,1 molar 500 mL $Al(NO_3)_3$ çözeltisi karıştırılıyor. Oluşan çözeltide NO_3^- iyonları derişimi 0,5 molar olduğuna göre X kaçtır?

35. 0,6 molar 400 mL KBr çözeltisine sabit sıcaklıkta aşağıdaki işlemler ayrı ayrı uygulanıyor. Buna göre her bir işlem sonrası oluşan çözelti derişimleri kaç molar olur?

a) 200 mL su ekleme

b) 0,2 mol KBr tuzu ekleme

c) 100 mL su buharlaştırma

36. Yoğunluğu 1,25 g/cm^3, derişimi 2,5 M olan $NaNO_3$ çözeltisi kütlece % kaçlıktır? (N:14, O:16, Na:23)

37. 250 gram arı su kullanılarak hazırlanan $Ca(NO_3)_2$ çözeltisinin molalitesi 2'dir. Buna göre çözeltide çözünmüş $Ca(NO_3)_2$ kütlesi kaç gramdır? (N:14, O:16, Ca:40)

38. Aşağıda verilen terimleri tanımlayınız.

a) Koligatif özellikler

b) Denge buhar basıncı

c) Kaynama noktası

ç) Ebülyoskopi, kriyoskopi

39. 25 °C'de 0,4 mol $Ca(NO_3)_2$ ve 108 gram su ile hazırlanan çözeltinin buhar basıncı kaç mmHg'dır? (25 °C'de P_{su}= 24 mmHg , H:1, O:16)

40. 27 °C sıcaklıkta 12,6 gram saf su ile 25,6 gram suda moleküler çözünen X sıvısı karıştırılarak homojen çözelti oluşturuluyor. Oluşan çözeltinin aynı sıcaklıktaki buhar basıncı 94 mmHg olarak belirleniyor. Buna göre X sıvısının mol kütlesi kaçtır? (27 °C'de P_{su}= 30 mmHg, P_X= 150 mmHg, H:1, O:16)

41. Aşağıda verilen ifadeleri açıklayınız.

a) Osmoz, ters osmoz

b) Seyreltik, derişik çözelti

c) Doymuş, aşırı doymuş çözelti

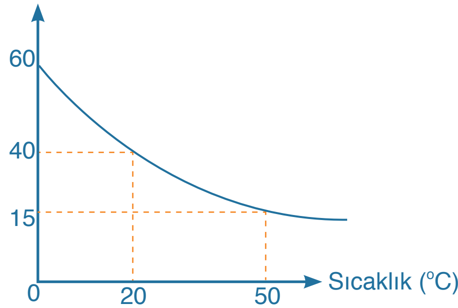
ç) Çözünürlük, çözünürlüğe etki eden faktörler

42. Saf su 1 atm basınçta deniz seviyesinde 100 °C'de kaynar. 285 gram $MgCl_2$ tuzu 2000 gram suya eklendiğinde oluşan tuzlu su kaç °C'de kaynamaya başlar? (Su için K_k= 0,52 °C.m^{-1}, Mg: 24, Cl: 35,5)

43. Motorlu araçların radyatörlerine konulan suyun donma noktasını düşürmek için etilen glikol ($C_2H_6O_2$) eklenir. 500 gram su ile kaç gram etilen glikol karıştırılırsa bu karışımın donma noktası -9,3 °C olur? (K_d=1,86 °C.m^{-1}, H:1, C:12, O:16)

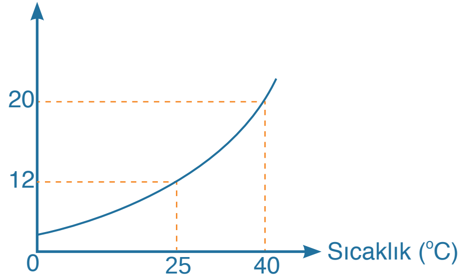
44. 25 °C sıcaklıkta çözünürlüğü 30 g X/100 g su olan bir tuzun kütlece %20'lik 300 g çözeltisi hazırlanıyor. Buna göre bu çözeltinin doygun hâle gelmesi için çözeltiye kaç gram tuz eklenmelidir?

45.



X katısının sıcaklık ile çözünürlüğünün derişim grafiği yanda verilmiştir. Buna göre 20 °C'de hazırlanan 420 gram doymuş çözeltinin sıcaklığı 50 °C'ye çıkartılırsa çözeltiye çökme olmaması için kaç gram su eklenmelidir?

46.



X tuzunun sudaki çözünürlüğünün sıcaklıkla değişimi yandaki grafikte verilmiştir. Buna göre

a) 40 °C'de hazırlanan 300 gramlık doygun çözeltideki suyun 1/5'i buharlaştırılıp sıcaklığı 25 °C'ye düşürülürse kaç gram X katısı çöker?

b) 25 °C'de 200 gram suyla hazırlanan doygun çözeltinin sıcaklığı 40 °C'ye çıkarılırsa çözeltinin doygun olması için kaç gram daha X tuzu eklenmelidir?

D **Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları cevaplayınız.**

47. Çözünme olayı ile ilgili

I. Çözücü moleküllerini birbirinden ayırmak için enerji gereklidir.

II. Çözücü ve çözünen molekülleri ekzotermik olarak karışır.

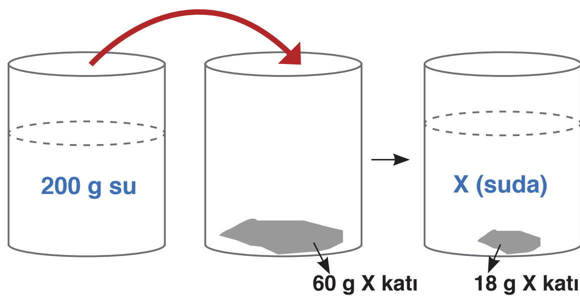
III. Çözücüsü sıvı, çözüneni katı olan çözeltilerde çözünme olayı ekzotermik ise çözünme kendiliğinden gerçekleşir.

IV. Polar maddeler polar çözücülerde, apolar maddeler apolar çözücülerde iyi çözünür.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) I, II, III ve IV B) I, II ve IV C) I, III ve IV D) II, III ve IV E) II ve IV

48. X çözeltisinin hazırlanma basamakları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Buna göre çözelti ile ilgili

I. Çözelti doymuştur.

II. Çözelti 260 gramdır.

III. Kütlece %21'liktir.

IV. X katısının çözünmesi endotermiktir.

verilen yargılardan hangileri kesinlikle doğrudur?

A) Yalnız I B) I ve III C) II ve III D) I ve II E) I, II ve III

49. Aşağıda çözücü ve çözüneni verilen çözeltilerden hangisinde çözücü ve çözünen arasındaki etkileşim türü yanlış verilmiştir?
($_1H$, $_2He$, $_6C$, $_7N$, $_8O$, $_{11}Na$, $_{17}Cl$)

	Çözücü	Çözünen	Etkileşim Türü
A)	CH_4	He	London kuvvetleri
B)	H_2O	NH_3	Hidrojen bağı
C)	H_2O	C_2H_5OH	Hidrojen bağı
D)	H_2O	NaCl	İyon-dipol
E)	CO_2	O_2	Dipol-indüklenmiş dipol

50. Karbon tetraklorür (CCl_4) apolar bir çözücü olduğuna göre

I. C_6H_6

II. CH_4

III. HCl

IV. CO_2

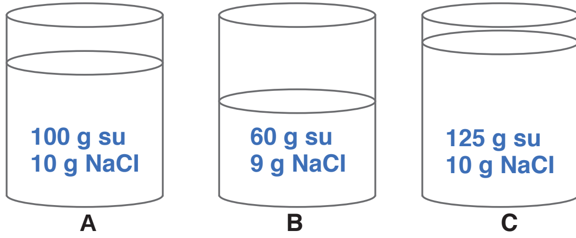
yukarıda verilen moleküllerden hangilerinin CCl_4'de çözünmesi beklenir? ($_1H$, $_6C$, $_8O$, $_{17}Cl$)

A) I ve II B) I ve III C) I, II ve III D) I, II ve IV E) II, III ve IV

51. 600 gram kütlece %15'lik tuzlu su çözeltisinden kaç gram su buharlaştırılırsa çözelti kütlece %45'lik olur?

A) 400 B) 360 C) 320 D) 300 E) 240

52. Aşağıdaki kaplarda aynı koşullarda tuz çözeltileri verilmiştir.



Buna göre

I. A kabındaki çözelti en derişik, C kabındaki çözelti en seyreltiktir.

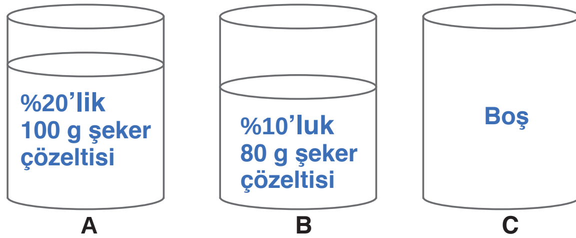
II. B kabındaki çözeltinin kaynamaya başlama sıcaklığı en yüksektir.

III. C kabına 2 gram daha NaCl eklenirse kaynamaya başlama sıcaklığı en yüksek olur.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II D) II ve III E) I, II ve III

53. A kabındaki çözeltinin %60'ı ile B kabındaki çözeltinin %40'ı C kabına aktarılıyor.



Buna göre C kabında kaç gram şeker vardır?

A) 15 B) 15,2 C) 15,4 D) 16 E) 16,4

54. Bir miktar $CaCO_3$ katısı 400 kilogram suda çözünerek 50 ppm'lik çözelti oluşuyor. **Çözelti kaç mol çözünmüş $CaCO_3$ içerir?** (C:12, O:16, Ca:40)

A) 5 B) 4 C) 2 D) 0,2 E) 0,02

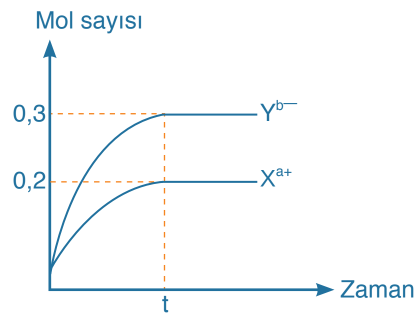
55. 20 mililitre etil alkol ile 100 mililitre su karıştırılıyor. Çözeltiye 20 mililitre etil alkol ve 20 mililitrede su ekleniyor. **Çözeltideki etil alkolün hacimce yüzdesi kaçtır?**

A) 10 B) 15 C) 18 D) 20 E) 25

56. Nitrat (NO_3^-) iyon derişimi 4 M olan 250 mililitre $Ca(NO_3)_2$ çözeltisinde kaç gram $Ca(NO_3)_2$ çözünmüştür? (N:14, O:16, Ca:40)

A) 164 B) 82 C) 36 D) 8,2 E) 4,1

57. İyonik bir katı ile hazırlanmış 400 mililitrelik çözeltideki iyonların mol sayısı-zaman grafiği alttaki gibidir.



Buna göre

I. a = 3, b = 2'dir.

II. İyonik katının formülü X_3Y_2'dir.

III. Çözeltideki X^{a+} iyon derişimi 0,5 M'dır.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) I, II ve III B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) Yalnız I

58. 0,2 M 400 mililitre $Mg(NO_3)_2$ çözeltisi ile X M 600 mililitre $NaNO_3$ çözeltisi karıştırılıyor. **Karışımdaki NO_3^- iyonları derişimi 1 M olduğuna göre X kaçtır?**

A) 0,8 B) 1 C) 1,2 D) 1,4 E) 2

59. Özkütlesi 1,4 g/mL olan kütlece %49'luk 400 mL H_2SO_4 çözeltisinin derişimini 2,8 M yapabilmek için kaç mL su eklenmelidir?

(H_2SO_4: 98)

A) 200 B) 400 C) 600 D) 800 E) 1000

60. 0,3 molal C_2H_5OH çözeltisi hazırlamak için

I. 23 g C_2H_5OH'ün üzerine 2000 mililitre su eklemek

II. 0,45 mol C_2H_5OH'ün üzerine 1,5 litre su eklemek

III. 46 g C_2H_5OH'ün üzerine hacmi 1000 mililitre olana kadar su eklemek

işlemlerinden hangileri uygulanmalıdır?

(H:1,C:12, O:16, d_{su}=1 g/mL)

A) Yalnız III B) Yalnız II C) I ve II D) II ve III E) I, II ve III

61. I. Buhar basıncı alçalması

II. Kaynama noktası yükselmesi

III. Çözeltilerin derişiminin artması

IV. Donma noktası alçalması

V. Özkütle artışı veya azalması

Yukarıdaki yargılardan kaç tanesi koligatif özelliklerdendir?

A) 1 B) 2 C) 3 D) 4 E) 5

62. $H_2SO_4(suda) + 2KOH(suda) \rightarrow K_2SO_4(suda) + 2H_2O(s)$

tepkimesine göre 7 gram kütlece %40'lık KOH çözeltisi 500 mililitre H_2SO_4 çözeltisi ile tam verimle tepkimeye giriyor.

Tepkimede kullanılan H_2SO_4 çözeltisinin derişimi kaç molardır? (H:1,O:16, K:39)

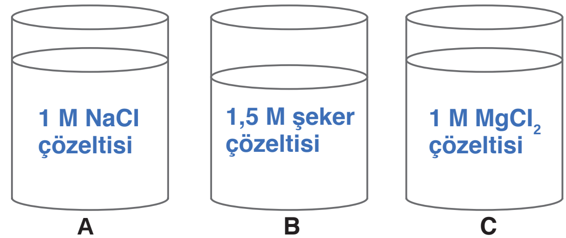
A) 10 B) 1 C) 0,1 D) 0,05 E) 0,01

63. Oda sıcaklığında 10 g NaOH'in 171 g suda çözünmesiyle hazırlanan çözeltinin aynı sıcaklıktaki buhar basıncı kaç mmHg'dır?

(H:1, O:16, Na:23, 25 °C'de P^o_{buhar}= 24 mmHg)

A) 22,8 B) 23 C) 23,2 D) 23,4 E) 23,6

64. Aşağıda verilen çözeltiler aynı ortamda bulunduğuna göre seçeneklerden hangisi doğrudur?



A) Kaynamaya başlama noktaları B > C > A

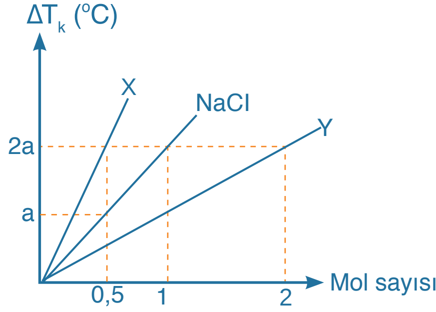
B) Moleküller arası çekim kuvvetleri A > B > C

C) Aynı sıcaklıktaki buhar basınçları B > A > C

D) Aynı sıcaklıktaki uçuculukları B > C > A

E) Kaynama anındaki buhar basınçları B > A > C

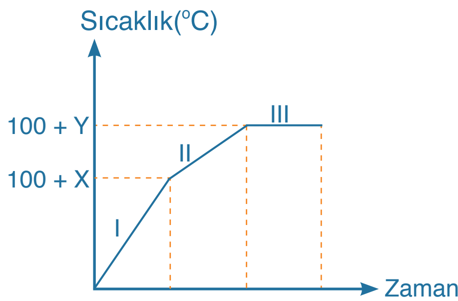
65. Aşağıdaki grafik 1 litre suda ayrı ayrı X, NaCl ve Y maddelerinin çözünmesiyle oluşan çözeltilerin kaynama sıcaklığı artışı (ΔT_k) ile mol sayısı arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Buna göre X ve Y maddelerinin formülü aşağıdakilerden hangisi olabilir?

	X	Y
A)	C_2H_5OH	$MgCl_2$
B)	KCl	$C_6H_{12}O_6$
C)	$FeCl_3$	KBr
D)	KCl	LiF
E)	$Al(NO_3)_3$	$C_6H_{12}O_6$

66. Aşağıda tuzlu suyun ısınmasına ait sıcaklık zaman grafiği verilmiştir.



Buna göre aşağıda verilen ifadelerden hangisi yanlıştır?

A) III. bölgede tuzlu suyun derişimi sabittir.
B) II. bölgede çözeltinin buhar basıncı azalmaktadır.
C) II. bölgede çözeltinin yoğunluğu artmaktadır.
D) I. bölgede çözeltinin buhar basıncı artmaktadır.
E) III. bölgede çözelti doymuştur.

67. Saf X maddesi suda çözündüğünde ortamın sıcaklığı arttığına göre

I. X maddesi gaz olabilir.
II. Doygun X çözeltisinin sıcaklığı arttırıldığında doymamış X çözeltisi elde edilir.
III. X'in çözünürlüğü sıcaklıkla doğru orantılıdır.

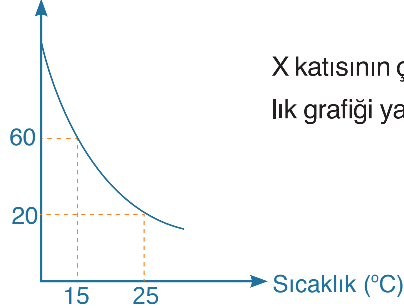
yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) II ve III E) I, II ve III

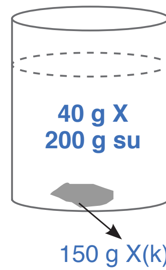
68. Suda iyonlaşarak çözünen, mol kütlesi 46 g/mol olan XY katısının 6,9 gramı 150 gram suda çözünerek sulu çözelti hazırlanıyor. **Oluşan çözeltinin 1 atm basınçta donmaya başlama sıcaklığı kaç °C'dir?** (K_d= 1,86 °C.m^{-1})

A) -2,72 B) -2,96 C) -3,45
D) -3,72 E) -3,96

69.



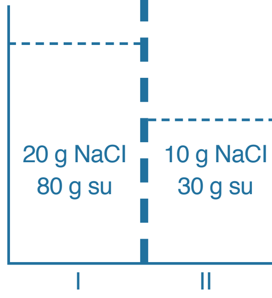
X katısının çözünürlük-sıcaklık grafiği yanda verilmiştir.



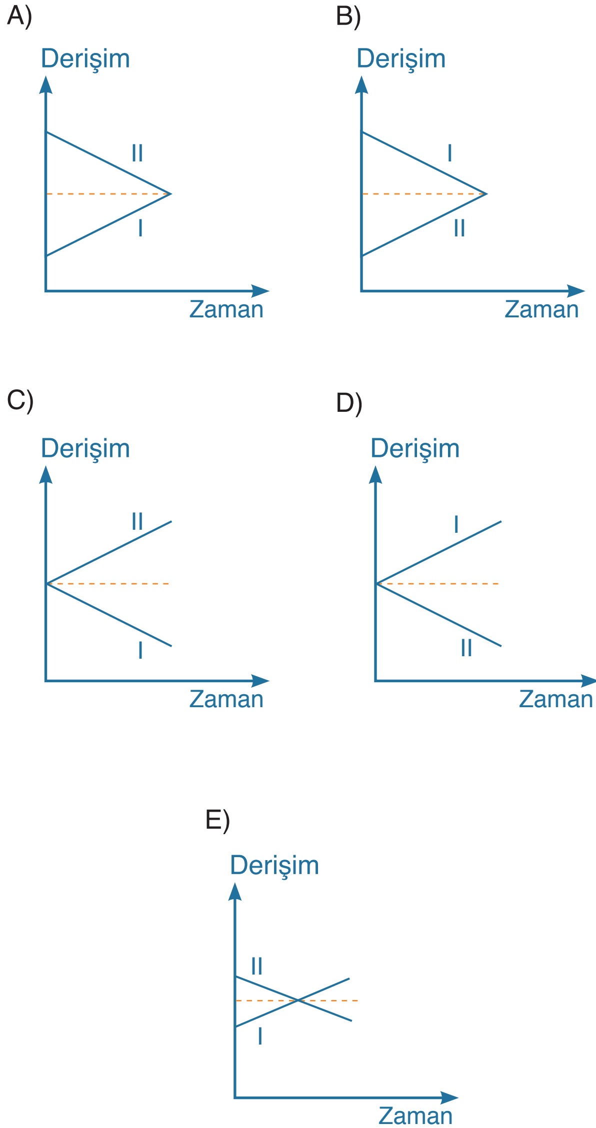
Şekilde verilen X katısı ile hazırlanan 25 °C'deki çözelti 15 °C'ye soğutulup üzerine 100 g su eklenirse kaç gram çözelti elde edilir?

A) 480 B) 490 C) 240
D) 340 E) 360

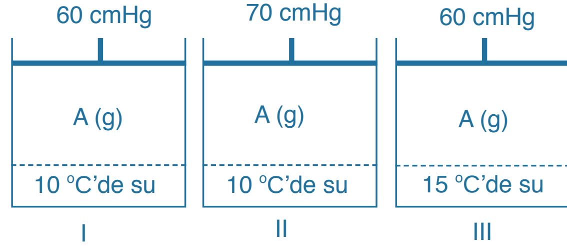
70.



Yukarıdaki kapta bulunan membrandan (yarı geçirgen zar) sadece su geçişi olduğuna göre I ve II. bölgelerdeki tuz derişiminin zamanla değişimi ile ilgili çizilen grafiklerden hangisi doğrudur?



71. Aşağıdaki ideal pistonlu kaplarda eşit hacimde su vardır.



Belirtilen şartlarda suda çözünen A gazının mol sayıları n_1, n_2 ve n_3 arasındaki ilişki aşağıdaki seçeneklerden hangisinde doğru verilmiştir?

A) $n_1 > n_2 > n_3$

B) $n_1 = n_3 < n_2$

C) $n_2 > n_1 > n_3$

D) $n_3 > n_1 > n_2$

E) $n_1 = n_2 < n_3$

72. Aşağıdaki seçeneklerde verilen yargılardan hangisi yanlıştır?

A) Henry Yasası'na göre bir gazın çözünürlüğü gazın kısmi basıncıyla doğru orantılıdır.

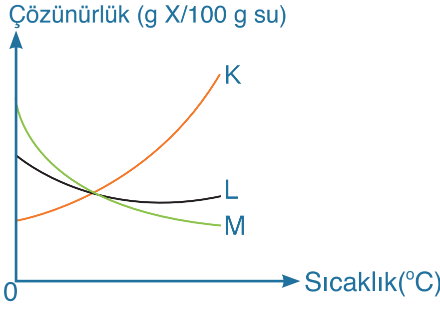
B) Katı ve sıvıların sudaki çözünürlüğü basınçla değişmez.

C) Gazlı içecekleri soğuk içeriz. Çünkü soğukta karbon dioksit gazı suda az çözünür.

D) Çözünürlük sıcaklık, basınç ve ortak iyon etkisi gibi faktörlere bağlıdır.

E) Belirli sıcaklık ve basınçta belirli miktardaki çözücüde çözünebilen en fazla madde miktarına çözünürlük denir.

73. Aşağıdaki grafikte K, L ve M maddelerinin çözünürlük-sıcaklık değişimi verilmiştir.



Buna göre

I. 0 °C'de çözünürlüğü en büyük olan M'dir.

II. L ve M'nin doygun çözeltileri soğutulursa çözünürlüğü artar.

III. K'nin doymamış çözeltisi soğutulursa doygun çözelti elde edilir.

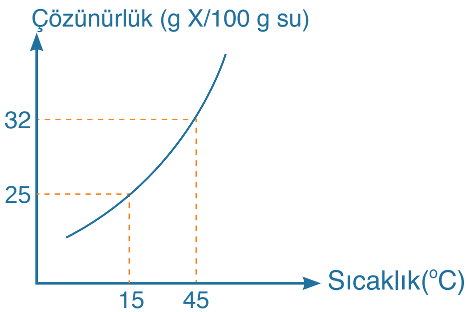
IV. L maddesi gaz olabilir.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) I, II ve IV B) I, III ve IV C) II, III ve IV

D) I, II ve III E) I, II, III ve IV

74. Aşağıdaki grafikte X tuzunun çözünürlük-sıcaklık değişimi verilmiştir.



Buna göre 45 °C'de 200 g su ile hazırlanan doymuş çözelti 15 °C'ye soğutulduğunda çöken tuzu çözmek için en az kaç gram su gerekir?

A) 28 B) 48 C) 52

D) 56 E) 60

75. Saf suyun 1 atmosfer basınçta kaynama noktası 100 °C'dir. Aynı miktarda su içeren üç ayrı kaba eşit mol sayılarında X, Y ve Z maddeleri ayrı ayrı eklendiğinde oluşan çözeltilerin kaynama noktalarının sırasıyla; 102 °C, 106 °C, 110 °C olduğu gözlenmiştir.

Buna göre X, Y ve Z maddeleri aşağıdakilerden hangisi olabilir?

	X	Y	Z
A)	Glikoz	$CaCl_2$	$Al_2(SO_4)_3$
B)	KCl	$AlCl_3$	$MgCl_2$
C)	Sakkaroz	$Ca(NO_3)_2$	NaOH
D)	Etanol	$CaCl_2$	$MgCl_2$
E)	$Al_2(SO_4)_3$	KCl	Glikoz

2016 LYS

76. Kütlece %36,5'lik derişik HCl'nin yoğunluğu, belli bir sıcaklıkta 1,2 g/mL'dir.

200 mL 0,3 M HCl çözeltisi hazırlamak için, derişik HCl çözeltisinden kaç mL alınarak 200 mL'ye tamamlanmalıdır? (HCl: 36,5 g/mol)

A) 2,0 B) 4,0 C) 5,0

D) 7,0 E) 9,0

2017 LYS

77. Bir araştırmacı 17,0 g $NaNO_3$ ve 200 g su kullanarak doymamış bir çözelti hazırlıyor.

$NaNO_3$ tuzunun suda tamamen iyonlarına ayrışarak çözündüğü varsayıldığında hazırlanan bu çözeltinin 1 atm basınç altında donmaya başlayacağı sıcaklık kaç °C'dir?

(Su için molal donma noktası sabiti K_d = 1,86 °C/m; suyun normal donma sıcaklığı 0 °C; $NaNO_3$= 85 g/mol)

A) -3,72 B) -1,86 C) 0

D) +1,86 E) +3,72

78. 25 °C'de kütlece %20'lik doymuş çözeltinin aynı sıcaklıktaki çözünürlüğü kaç g/100 g su olur?

A) 20 B) 22 C) 25

D) 27 E) 30

4 ÜNİTE

KİMYASAL TEPKİMELERDE ENERJİ

ÜNİTE BÖLÜMLERİ

ANAHTAR KAVRAMLAR

- Bağ enerjisi
- Ekzotermik tepkime
- Endotermik tepkime
- Entalpi
- Hess Yasası
- Standart oluşum entalpisi
- Tepkime entalpisi

İÇERİK

- Tepkimelerde meydana gelen enerji değişimleri
- Standart oluşum entalpileri üzerinden tepkime entalpilerini hesaplama
- Bağ enerjileri ile tepkime entalpisi arasındaki ilişki
- Hess Yasası

1. BÖLÜM

TEPKİMELERDE ISI DEĞİŞİMİ

- *Günlük yaşamda endotermik ve ekzotermik tepkimelere örnek hangi olaylar verilebilir?*
- *Kimyasal tepkimelerdeki enerji değişimleri aynı mıdır?*
- *Tepkimelerdeki enerji değişimleri hangi faktörlere bağlıdır?*

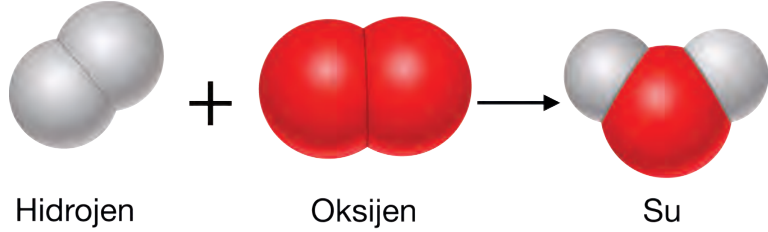
4.1.1. Tepkimelerde Meydana Gelen Enerji Değişimleri

Kimyasal tepkimelerde meydana gelen enerji değişimlerini izleyebilmek için sistem, ortam ve enerji kavramları birbirinden ayırt edilmelidir.

Enerji; bir cismin konumu, hareketi, taşıdığı elektrik yükü, içinde bulunduğu ortamdan daha yüksek sıcaklığa sahip olması sebebiyle iş yapabilme yeteneğidir.

Evren; madde ve enerji dengesi üzerine kuruludur. Fiziksel olaylarda, kimyasal ve çekirdek (radyoaktif) tepkimelerinde enerji değişimi gerçekleşir. Kimyasal olaylardaki enerji değişimi, fiziksel olaylardaki enerji değişiminden daha fazladır. Çekirdek tepkimelerindeki enerji ise fiziksel ve kimyasal olaylara göre çok daha fazladır.

Görsel 4.1: *Fiziksel değişimle oluşmuş buz*



Görsel 4.2: *Kimyasal değişimle su oluşumu*

$H_2O(s) \rightarrow H_2O(k) + 6{,}01$ kJ   Fiziksel değişim (Görsel 4.1)

$H_2(g) + 1/2\ O_2(g) \rightarrow H_2O(g) + 241{,}8$ kJ   Kimyasal değişim (Görsel 4.2)

Sistemle ortam arasındaki sıcaklık farkından ileri gelen enerji alışverişine **ısı** denir. Isı, daima sıcak bir cisimden soğuk bir cisme enerji aktarımı ile gerçekleşir. Sistemle ortam arasındaki sıcaklık farkı sonucunda sistemden ortama ısı akışı oluyorsa sistem enerjiyi ısı şeklinde kaybeder. Sıcak cisim, soğuk cisme dokundurulduğunda sıcak cisimden soğuk cisme ısı şeklinde enerji akışı olur.

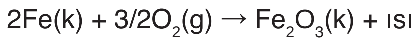
Moleküler düzeyde, sistemin bulunduğu ortamdaki moleküllerin karmaşık hareketleri artarken enerji, ısı şeklinde dışarıya verilir. Hızla hareket eden moleküller, birbiriyle çarpışmaları sonucu fazla enerjilerini ortama vererek enerjinin yayılmasını sağlar. Moleküllerin bu gelişigüzel hareketi termal hareketi oluşturur. Isının, sıcaklığın yüksek olduğu bölgeden düşük olduğu bölgeye akması, termal hareketin fazla olduğu bölgeden az olduğu bölgeye enerji akışı demektir. Isı, kalorimetre kabı ile ölçülür ve ısı birimi kalori (cal) veya joule (J)'dür.

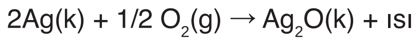
a) Ekzotermik ve Endotermik Tepkimelerde Isı Alışverişi

Kimyasal tepkimeler, enerji değişimi ile gerçekleşir. Bu enerji değişimi, ekzotermik veya endotermik olarak nitelenir. Bulunduğu ortama ısı vererek gerçekleşen tepkimelere **ekzotermik tepkimeler** (ekzo: dışarı, term: ısı) denir. Ekzotermik tepkimelerde potansiyel enerji azalır.

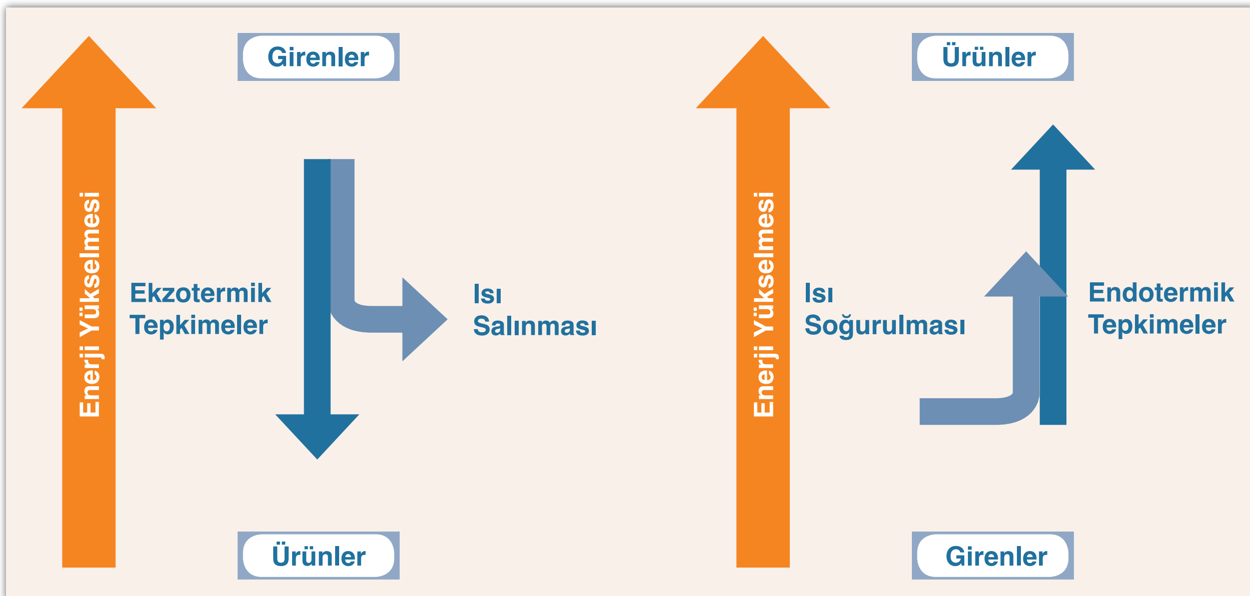
Bulunduğu ortamdan ısı alarak gerçekleşen tepkimelere de **endotermik tepkimeler** (endo: içeri, term: ısı) denir. Endotermik tepkimelerde potansiyel enerji artar. Bir tepkimede alınan veya verilen enerjiye **tepkime enerjisi** adı verilir. Tepkimelerde, alınan veya verilen enerji potansiyel enerjidir. Genellikle düşük ve normal sıcaklıklarda oluşan tepkimeler, ekzotermik tepkimelerdir ve ısı verirler. Çok yüksek sıcaklıklarda ise endotermik tepkimeler gerçekleşir.

Örneğin demirin paslanması ve gümüşün kararması, ekzotermik yanma tepkimeleridir.


$2Fe(k) + 3/2O_2(g) \rightarrow Fe_2O_3(k)$ + ısı


$2Ag(k) + 1/2\ O_2(g) \rightarrow Ag_2O(k)$ + ısı

Bu tepkimelerde tepkime ısısının varlığı hissedilmez. Bu tür tepkimelerde tepkime ısısı çok azdır ve tepkime çok yavaş yürümektedir. Çok yavaş olan tepkimelerde tepkime ısısının ölçülmesi zordur. Ekzotermik tepkimelerde girenler ürünlere dönüşürken enerji düşüşü, endotermik tepkimelerde ise enerji yükselişi olur (Görsel 4.3).



Görsel 4.3: *Ekzotermik ve endotermik tepkimelerde enerji değişimi*

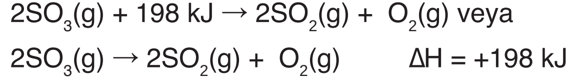
Tepkimelerde tepkime ısısı "ΔH" ile ifade edilir. Ekzotermik tepkimelerde $\Delta H < 0$, endotermik tepkimlerde $\Delta H > 0$ olur. Bir kimyasal tepkimede alınan ya da verilen ısıya **tepkime ısısı** ya da **tepkime entalpisi** denir. Entalpi, iç enerjiye bağlı bir özelliktir ve entalpinin mutlak değeri ölçülemez. Entalpi, bir hâl fonksiyonudur ve belirli değerlere sahiptir.

Kimyasal tepkimede dışarıdan ısı alınıyorsa alınan ısı tepkime denkleminde girenler tarafında, ısı salınıyorsa salınan ısı tepkime denkleminde ürünler tarafında gösterilir.

Kimyasal tepkimelerde enerji değişimi, maddenin fiziksel hâllerine bağlıdır. Bu nedenle maddenin fiziksel hâlleri tepkime denklemlerinde belirtilir.

Tepkimelerde ısı veya entalpi değişimi

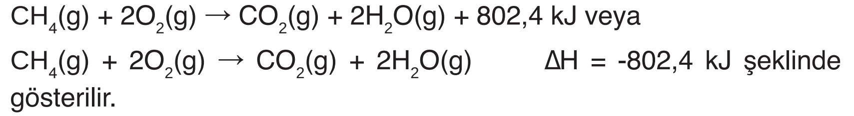
Endotermik tepkimelerde



$2SO_3(g) + 198\ kJ \rightarrow 2SO_2(g) + O_2(g)$ veya

$2SO_3(g) \rightarrow 2SO_2(g) + O_2(g) \qquad \Delta H = +198\ kJ$

Ekzotermik tepkimelerde ise



$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g) + 802,4\ kJ$ veya

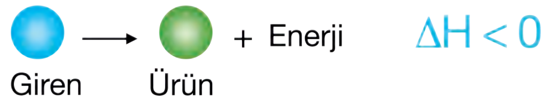
$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g) \qquad \Delta H = -802,4\ kJ$ şeklinde gösterilir.

Yukarıda verilen CH_4 gazının yanma tepkimesinde; 1 mol CH_4 2 mol O_2 ile tepkimeye girdiğinde 1 mol CO_2 ve 2 mol H_2O oluşur. Bu sırada sistemden ortama 802,4 kJ ısı salınır. Sabit basınçta bu entalpi değişimi tepkime entalpisine eşittir.

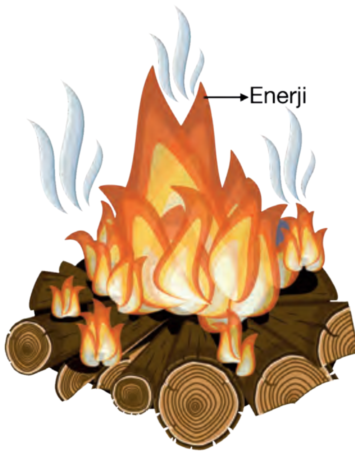
25 °C ve 1 atm basınç altında gerçekleşen tepkimelerin ısı değerine o tepkimenin **Standart Entalpi Değişimi** (ΔH^o) denir. Bir kimyasal tepkimede tepkime entalpisi, ürünlerin entalpileri toplamı ($H_ü$) ile girenlerin entalpileri toplamı (H_g) arasındaki farka eşittir. Birimi kcal ya da kJ'dür.

Ekzotermik Tepkimeler

Ekzotermik tepkimeler ısı verir. Çünkü ürünlerin enerjisi, girenlerin enerjisinden daha düşük seviyededir. Tepkime gerçekleştiğinde girenler, enerjisi daha düşük olan ürünlere dönüşür ve aradaki enerji farkı ortama verilir. Tepkimede ürünler daha kararlı olduğundan bu tür tepkimeler başlatıldıktan sonra kendiliğinden devam eder. Ekzotermik tepkimelerde enerji (ısı) ürünler tarafına yazılır. Ekzotermik tepkimelerde $\Delta H < 0$ olur.



- Yanma tepkimeleri (N_2 gazının yanması hariç)
- Nötralleşme tepkimeleri
- Kimyasal bağ oluşumu
- Pil tepkimeleri
- Uyarılmış atomların temel hâle gelmesi
- Gazların suda çözünmesi
- Yoğunlaşma, donma ve kırağılaşma gibi fiziksel olaylar ekzotermiktir.



Görsel 4.4: *Odunun yanması*

Ekzotermik tepkimeye odundaki karbonun yanması (Görsel 4.4),

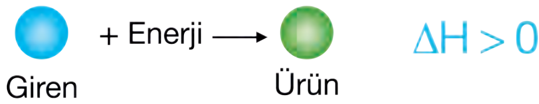
$C(k) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 393,5\ kJ$

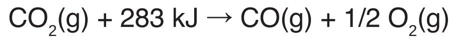
Bir metal oksidin alüminyumla indirgenme tepkimesi örnek verilebilir.

$2Al(k) + Fe_2O_3(k) \rightarrow Al_2O_3(k) + 2Fe(k) + 856\ kJ$

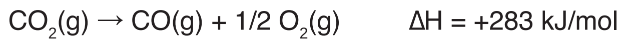
Endotermik Tepkimeler

Tepkimeye girenlerin entalpileri toplamı, ürünlerin entalpileri toplamından küçük olduğu için aradaki fark kadar enerji, dışarıdan ısı olarak alınır. Girenler tarafı daha kararlı olduğundan bu tür tepkimeler, kendiliğinden oluşmaz ya da başlatıldıktan sonra kendiliğinden devam etmez. Gerekli enerjinin sürekli sisteme verilmesi gerekir. Endotermik tepkimelerde enerji (ısı) girenler tarafına yazılır. Endotermik tepkimelerde $\Delta H > 0$ olur.




$CO_2(g) + 283\ kJ \rightarrow CO(g) + 1/2\ O_2(g)$

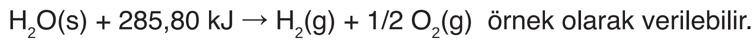
veya

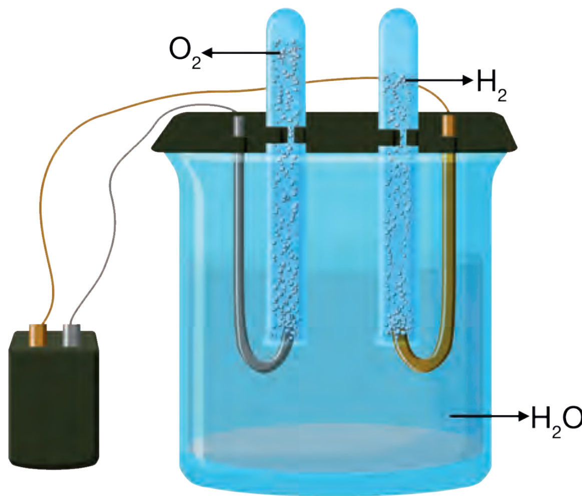

$CO_2(g) \rightarrow CO(g) + 1/2\ O_2(g) \qquad \Delta H = +283\ kJ/mol$

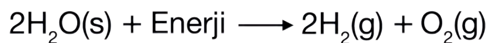
Yukarıdaki 1 mol CO_2 bileşiğini, 1 mol CO ve 0,5 mol O_2 maddelerine ayrıştırmak için 283 kJ ısı gereklidir. Sabit basınçta bu ısı değişimi tepkime entalpisine eşittir.

- Bileşiklerin bileşenlerine ayrıştırılması
- Elektroliz (Görsel 4.5)
- Atomlardan elektron koparılması
- Erime, buharlaşma, süblimleşme gibi fiziksel olaylar endotermik olarak gerçekleşir.

Endotermik tepkimeye


$H_2O(s) + 285{,}80\ kJ \rightarrow H_2(g) + 1/2\ O_2(g)$ örnek olarak verilebilir.




$2H_2O(s) + Enerji \longrightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$

Görsel 4.5: *Suyun elektrolizi*

Bilgi Kutusu

Bir maddenin, sıvılaştırılmış hâlinde ya da elektrolit çözeltisinde, elektrik akımı yardımı ile ayrışmasına ***elektroliz*** *denir.*

b) Kurşun(II) İyodürün Oluşumu ve Sodyum Hidroksitin Suda Çözünmesi Deneyi

4.1. ETKİNLİK

Etkinliğin Adı: Kurşun(II) İyodürün Oluşumu

Etkinliğin Amacı: Endotermik olarak gerçekleşen kurşun(II) nitrat [$Pb(NO_3)_2$] ile potasyum iyodürün (KI) tepkimesinden kurşun(II) iyodürü (PbI_2) oluşturmak

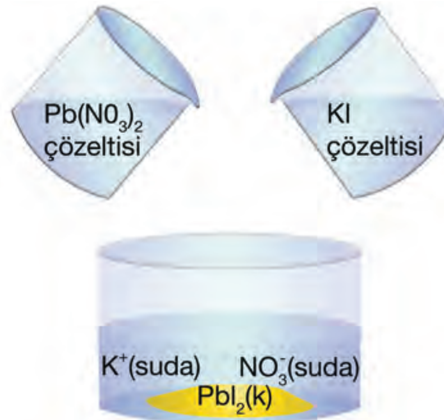
Etkinliğin Süresi: 40 dakika

Araç ve Gereçler

- Kurşun(II) nitrat [$Pb(NO_3)_2$]
- Potasyum iyodür (KI)
- Beher
- Termometre
- Cam baget
- Spatül
- Saf su

Uygulama Aşamaları

1. 50 mL'lik iki ayrı beher alınız.
2. Beherlere kırkar mL su koyunuz.
3. Birinci beherdeki suya bir spatül $Pb(NO_3)_2$, ikinci beherdeki suya bir spatül KI katısı ekleyiniz ve çözeltileri cam bagetle karıştırınız.
4. Oluşan çözeltilerin sıcaklıklarını ölçünüz.
5. 200 mL'lik behere hazırlanan çözeltileri yavaş yavaş ekleyiniz.
6. Beherdeki çökelme tepkimesini gözlemleyiniz.
7. Çökelme işlemi tamamlanınca sıcaklığı tekrar ölçünüz.



Etkinliğin Değerlendirmesi

Kurşun(II) nitrat [$Pb(NO_3)_2$] ile potasyum iyodür (KI) çözeltilerinin karıştırılması sonucu sarı renkli kurşun(II) iyodür (PbI_2) katısı oluşur. Gerçekleşen kimyasal olayın denklemi

$$Pb(NO_3)_2(suda) + 2KI(suda) \rightarrow PbI_2(k) + 2KNO_3(suda)$$

şeklindedir. Bu çökelme tepkimesi sonucunda çözeltilerin sıcaklığı nasıl değişir? Bu tepkimenin endotermik veya ekzotermik olduğunu açıklayınız.

4.2. ETKİNLİK

Etkinliğin Adı: Sodyum Hidroksitin (NaOH) Suda Çözünmesi

Etkinliğin Amacı: Sodyum hidroksitin (NaOH) suda çözünmesi olayının endotermik veya ekzotermik olduğunu tespit etmek

Etkinliğin Süresi: 40 dakika

Araç ve Gereçler
- Sodyum hidroksit (NaOH)
- Saf su
- Beher
- Termometre
- Cam baget, spatül

Uygulama Aşamaları
1. 200 mL'lik beher alınız.
2. Behere 100 mL su koyunuz ve suyun sıcaklığını termometre ile ölçünüz.
3. Beherdeki suya iki spatül NaOH katısını ekleyiniz ve çözeltiyi cam bagetle karıştırınız.
4. Oluşan çözeltinin sıcaklığını tekrar ölçünüz.

Etkinliğin Yorumlanması

Oluşan çözeltinin sıcaklığını başlangıçtaki suyun sıcaklığı ile karşılaştırınız. NaOH katısının suda çözünme olayının endotermik veya ekzotermik olduğunu belirleyiniz.

4.1. Alıştırma

Aşağıdaki olayları ekzotermik ve endotermik olarak sınıflandırınız.

Olaylar	Ekzotermik	Endotermik
Metallerin birinci iyonlaşma enerjisi		
Karbon dioksit gazının suda çözünmesi		
Metan gazının yanması		
Suyun donması		
HCl(suda) + NaOH(suda) → NaCl(suda) + H_2O(s)		
H_2O(s) → H_2(g) + 1/2O_2(g)		
H• + H• → H_2(g)		

c) Bilişim teknolojilerinden (animasyon, simülasyon, video vb.) yararlanarak ekzotermik ve endotermik tepkimelerin açıklanması.

Bilişim teknolojilerinden yararlanarak ekzotermik ve endotermik tepkimeleri açıklayınız. İlgili görsellere Millî Eğitim Bakanlığı Eğitim Bilişim Ağı **www.eba.gov.tr** adresinden ulaşılabilir.

2. BÖLÜM

OLUŞUM ENTALPİSİ

- *Maddelerin standart oluşma entalpisi nasıl hesaplanır?*
- *Tepkime entalpilerini hesaplamak ne gibi kolaylıklar sağlar?*
- *Endotermik ve ekzotermik tepkimelerin potansiyel enerji tepkime koordinatı grafiğinde genel farklılıklar nelerdir?*

4.2.1. Tepkime Entalpilerinin Hesaplanması

Sabit sıcaklık ve basınçta tepkime ısısı, tepkime tarafından alınan veya verilen ısı miktarıdır. Bu ısı miktarı aynı zamanda kimyasal tepkimenin entalpi değişimidir. Ekzotermik tepkimelerde, tepkimeye giren maddelerin toplam enerjisi azaldığından entalpinin işareti (-), endotermik tepkimelerde ise tepkimeye giren maddelerin toplam enerjisi arttığından entalpi işareti (+) olur.

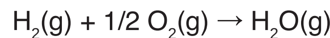
a) Standart Oluşum Entalpileri

Maddelerin entalpi değerleri genel olarak 25 °C sıcaklık ve 1 atm basınçta ölçülür. Bu değerlere **standart entalpi** denir. "H°" ile gösterilir. H° gösterimindeki üstteki (°) değeri entalpi değişiminin standart şartlarda gerçekleştiğini belirtir. 25 °C sıcaklık ve 1 atm basınçta elementlerin en kararlı hâlinin standart oluşum entalpisi sıfıra eşittir. Elementlerin standart oluşum entalpilerinin sıfır olarak tanımlanması, elementlerin allotropik (aynı elementlerin farklı molekül yapıları) hâllerinden en kararlı hâl esas alınarak yapılır. Örneğin 25 °C sıcaklık ve 1 atm basınçta, karbon elementinin allotroplarından elmas ve grafit alındığında grafit elmasa göre daha kararlıdır. Bu durumda grafitin standart oluşum entalpisi sıfır, elmasınki ise sıfırdan farklıdır. Oksijenin allotroplarından O_2 allotropu, O_3 allotropundan daha kararlıdır. Bu nedenle O_2'in standart oluşum entalpisi sıfır, O_3'un standart oluşum entalpisi sıfırdan farklıdır.

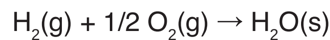
Bir bileşiğin oluşum entalpisi; 1 atm basınçta elementler referans olarak alındığında bileşiğin elementlerinden oluştuğu tepkimenin ısı (entalpi) değişimidir. Bir maddenin entalpi değerinin tam olarak ölçülmesi mümkün değildir. Bir bileşiğin standart koşullarda elementlerinden oluştuğu tepkimenin entalpisine bileşiğin **standart oluşum entalpisi** denir.

Standart oluşum entalpisinden bahsedebilmek için

- Ürünler tarafında tek tür bileşik olmalıdır. Bileşik hangi fiziksel hâlde ise standart oluşum entalpisi o hâl için geçerlidir.



$H_2(g) + 1/2\ O_2(g) \rightarrow H_2O(g)$



$H_2(g) + 1/2\ O_2(g) \rightarrow H_2O(s)$

tepkimelerinin entalpisi aynı zamanda H_2O gazının ve H_2O sıvısının standart oluşum entalpileridir.

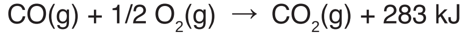
$C_2H_6(g) + 7/2O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(g)$

tepkimesinde ürünlerde iki tür bileşik oluştuğundan bu tepkimedeki entalpi değişimi bir bileşiğin oluşum entalpisi değildir.

- Bileşik kararlı hâldeki elementlerinden oluşmalıdır.

$C(k) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 393{,}5\ kJ$

tepkimenin $\Delta H° = -393{,}5$ kJ/mol değeri CO_2 gazının standart oluşum entalpisidir.



$CO(g) + 1/2\ O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 283\ kJ$

tepkimenin $\Delta H° = -283$ kJ/mol değeri CO_2 gazının standart oluşum entalpisi değildir. Çünkü CO_2 gazı elementlerinden oluşmamıştır. Bu tepkimedeki $\Delta H°$ değeri CO gazının molar yanma entalpisi olarak belirtilir.

- Standart şartlarda gerçekleşen tepkime sonucunda oluşan ürün 1 mol olmalıdır.

$H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2HCl(g)$ tepkimesi sonucunda 2 mol ürün oluştuğu için entalpi değişimi HCl gazının standart oluşum entalpisi değildir.

Girenlerdeki elementlerin en kararlı hâllerinin standart oluşum entalpileri sıfırdır. Tepkimede girenlerin standart oluşum entalpisi değeri sıfır olduğunda tepkimenin ΔH değeri üründeki bileşiğin oluşum entalpisine eşit olur. Bunun için elementlerin oda koşullarında en kararlı hâlleri bilinmelidir. Elementlerin 25 °C, 1 atm koşullarında en kararlı hâlleri Tablo 4.1'de belirtilmiştir.

Bazı elementlerin standart oluşum entalpilerinin değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1: *Standart Şartlarda Elementlerin En Kararlı Hâlleri*

Element	Kararlı Hâli
Hidrojen	$H_2(g)$
Oksijen	$O_2(g)$
Azot	$N_2(g)$
Karbon	C(k, grafit)
Flor	$F_2(g)$
Klor	$Cl_2(g)$
Brom	$Br_2(s)$
İyot	$I_2(k)$
Kükürt	S(k, rombik)
Fosfor	P(k, beyaz)
Cıva	Hg(s)
Metaller	Katı hâli

Bilgi Kutusu

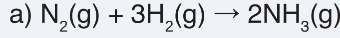
Oluşan bileşik 1 mol ise oluşum entalpisi ***molar oluşum entalpisi*** *olarak da belirtilir.*

Tablo 4.2: *Bazı Elementlerinin Standart Oluşum Entalpileri*

Element	ΔH°(kJ/mol)	Element	ΔH°(kJ/mol)
$H_2(g)$	0	$I_2(k)$	0
$O_2(g)$	0	Br(s)	0
O(g)	249,4	$F_2(g)$	0
$O_3(g)$	142,2	$Cl_2(g)$	0
C(k, grafit)	0	S(k, rombik)	0
C(k, elmas)	1,9	S(k, monoklinik)	0,3
Ag(k)	0	$N_2(g)$	0
Al(k)	0	P(k, beyaz)	0
Cu(k)	0	P(k, kırmızı)	-17,6

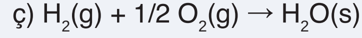
Örnek

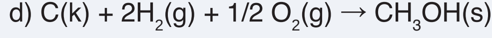
Aşağıda verilen tepkimelerin hangilerinde standart şartlardaki entalpi değişimleri oluşum entalpilerine eşittir?


a) $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$

b) $C(grafit) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$

c) $CO(g) + 1/2\ O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$


ç) $H_2(g) + 1/2\ O_2(g) \rightarrow H_2O(s)$


d) $C(k) + 2H_2(g) + 1/2\ O_2(g) \rightarrow CH_3OH(s)$

e) $SO_2(g) \rightarrow S(k) + O_2(g)$

f) $C(elmas) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$

Çözüm

b, ç, d seçeneklerindeki tepkimelerin entalpileri, ürünlerde oluşan bileşiklerin oluşum entalpilerine eşittir. a, c, e, f seçeneklerindeki tepkimelerin entalpileri oluşum entalpisi değildir.

a seçeneğinde NH_3 bileşiği elementlerinden oluşmuştur ancak oluşan bileşik 2 moldür.

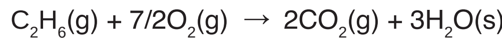
c seçeneğinde CO_2 bileşiği elementlerinden oluşmamıştır.

e seçeneğinde bileşik elementlerine ayrışmıştır.

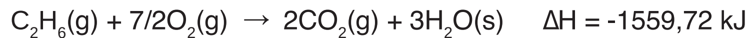
f seçeneğinde CO_2 bileşiği elementlerinden oluşmuştur ancak C(elmas) standart koşullarda karbonun en kararlı hâli değildir.

b) Tepkime Entalpisi ve Potansiyel Enerji Tepkime Koordinatı Grafiği

Kimyasal değişim entalpileri; iyi özelliklere sahip yakıt yapımı için ham madde seçimi, kimya işletmelerinin tasarımı, biyokimyasal süreçlerin incelenmesi gibi kimyanın birçok alanı için önemlidir. Her kimyasal tepkimenin gerçekleşmesi sırasında enerji değişimi meydana gelir ve genelde enerji ısı olarak salınır. Bir element ya da bileşiğin oksijenle verdiği tepkimeye **yanma tepkimesi** denir. Örneğin etan (C_2H_6) gazının yanma tepkimesi aşağıda verilmiştir:


$$C_2H_6(g) + 7/2O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(s)$$

25 °C ve 1 atm'de 1 mol C_2H_6 gazının kalorimetrede yanmasıyla 1559,72 kJ ısı açığa çıkar. Bu değer tepkimelerde aşağıdaki gibi yazılır:


$$C_2H_6(g) + 7/2O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(s) \quad \Delta H = -1559,72\ kJ$$

Bu ifadenin tamamına termokimyasal eşitlik denir ve bu eşitlik kimyasal tepkime ile tepkime entalpisinden oluşur. Tepkime bileşenlerinin başındaki katsayılar, verilen entalpi değişimini oluşturmak için tepkimeye giren maddelerin mol sayısını göstermektedir.

Bu durumda entalpi değişimi, 1 mol C_2H_6 gazı ile 7/2 mol O_2 gazının tam yanma tepkimesinden kaynaklanmaktadır. Tepkime entalpisi bilindiğinde tepkimede dışarıya ısı verilip verilmediği, tepkimede harcanan ve oluşan maddelerin miktarları hesaplanabilir.

Gerçekleşme olasılığı olan milyonlarca tepkime vardır. Bu tepkimelerin her birini standart tepkime entalpisiyle vermek uygulamada mümkün değildir. Bununla birlikte kimyacılar önce maddelerin standart oluşum entalpilerini belirlemişler, daha sonra herhangi bir tepkimenin standart tepkimesini elde etmek için bu nicelikleri birleştirmişlerdir.

Bir bileşiğin standart oluşum entalpisi pozitif veya negatif bir değerdir. Tablo 4.3'te bazı bileşiklerin standart oluşum entalpileri verilmiştir.

Tablo 4.3: *Bazı Bileşiklerin Standart Oluşum Entalpileri*

Bileşik	ΔH°(kJ/mol)	Bileşik	ΔH°(kJ/mol)	Bileşik	ΔH°(kJ/mol)
CO(g)	-110,50	HI(g)	26,48	N_2O_4(g)	9,16
CO_2(g)	-393,50	HNO_3(g)	-135,06	SO_2(g)	-296,80
CH_4(g)	-74,81	NaCI(k)	-411,00	SO_3(g)	-395,70
C_2H_2(g)	226,70	$Ca(OH)_2$(k)	-986,59	H_2S(g)	-20,63
C_2H_4(g)	52,26	$CaCO_3$(k)	-1206,92	HCN(g)	135,10
C_2H_6(g)	-84,68	CS_2(s)	87,30	Al_2O_3(k)	-1669,80
C_3H_8(g)	-103,80	H_2O(g)	-241,80	ZnO(k)	-348,28
C_4H_{10}(g)	-125,60	H_2O(s)	-285,80	NH_4NO_3(k)	-365,10
CH_3OH(s)	-238,70	H_2S(g)	-20,63	MgO(k)	-600,70
C_2H_5OH(s)	-277,70	NH_3(g)	-46,11	CaO(k)	-635,08
HF(g)	-271,10	NO(g)	90,25	H_2O_2(s)	-187,60
HCI(g)	-92,30	N_2O(g)	82,05	$KClO_3$(s)	-391,20
HBr(g)	-36,40	NO_2(g)	33,18	C_6H_6(s)	49,0

Bir kimyasal tepkimenin standart entalpi değişiminin hesaplanmasında bileşiklerin standart oluşum entalpileri kullanılır. Kimyasal tepkimede; ürünlerin standart oluşum entalpileri toplamından, girenlerin standart oluşum entalpileri toplamı çıkarılırsa tepkimenin standart entalpi değişimi değeri bulunur.

$$\Delta H^o = \sum nH^o_ü - \sum nH^o_g$$

"n" değeri maddelerin tepkime denklemindeki katsayılarıdır.

Tepkime Isısına Etki Eden Faktörler

- Madde türü: Tepkimeye giren maddelerin türü değiştikçe tepkime ısısı da değişir. Örneğin 1 mol C'un yanması ile 1 mol H_2 gazının yanmasından oluşan ısı miktarları farklıdır.
- Madde miktarı: Tepkime ısısı, tepkimede oluşan ve harcanan maddelerin miktarıyla doğru orantılıdır. Örneğin 1 mol C'un yanmasıyla açığa çıkan ısı, 2 mol C'un yanmasıyla açığa çıkan ısının yarısıdır.
- Maddelerin fiziksel hâli: Tepkime ısısı maddenin fiziksel hâli değiştiğinde değişir.

  $H_2(g) + 1/2\ O_2(g) \rightarrow H_2O(s)$ ΔH^o= -285,80 kJ/mol

  $H_2(g) + 1/2\ O_2(g) \rightarrow H_2O(g)$ ΔH^o= -241,80 kJ/mol
- Sıcaklık: Tepkime ısısı sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık tepkime ısısını giren ve ürünlerin ısı kapasitesine göre etkiler. Sıcaklığın tepkime ısısına etkisi tepkimeye göre farklılık gösterir.
- Basınç ve hacim değişimi: Tepkime ısısı, tepkimenin sabit basınç veya sabit hacimde gerçekleşmesine bağlı olarak değişir.

Örnek

Propan (C_3H_8) gazının standart yanma entalpisini hesaplayınız.

(Standart oluşum entalpileri $\Delta H^o_{CO_2(g)}$= - 393,5 kJ/mol,

$\Delta H^o_{H_2O(s)}$= -285,80 kJ/mol, $\Delta H^o_{C_3H_8(g)}$= -103,8 kJ/mol)

Çözüm

$C_3H_8(g) + 5O_2(g) \rightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(s)$ tepkimesindeki standart entalpi değişiminin hesaplanması

$\Delta H^o = \sum nH^o_ü - \sum nH^o_g$ formülü ile yapılır.

ΔH^o= [3.(-393,5) + 4.(-285,8)] - [-103,8 + 5.0]

ΔH^o= -1180,5 – 1143,2 + 103,8

ΔH^o= -2219,9 kJ

Yukarıdaki ekzotermik tepkimede 1 mol C_3H_8 gazı standart koşullarda yakıldığında 2219,9 kJ enerji açığa çıkar.

Örnek

$C_6H_6(s) + 15/2O_2(g) \rightarrow 6CO_2(g) + 3H_2O(s)$ $\Delta H° = -3267,4$ kJ olduğuna göre

$H_2O(s) \rightarrow H_2O(g)$ tepkimesinin ΔH değeri kaç kJ/mol'dür?

(Standart oluşum entalpileri: $\Delta H°_{C_6H_6(s)} = 49$ kJ/mol, $\Delta H°_{CO_2(g)} = -393,5$ kJ/mol, $\Delta H°_{H_2O(g)} = -241,8$ kJ/mol)

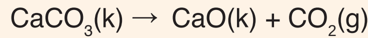
Çözüm

$\Delta H° = \sum nH_ü° - \sum nH_g°$ $-3267,4 = [6.(-393,5) + 3.(H°_{H_2O(s)})] - (49)$

$\Delta H°_{H_2O(s)} = -285,8$ kj/mol

$H_2O(s) \rightarrow H_2O(g)$ için; $\Delta H° = -241,8 - (-285,8) = +44,0$ kJ/mol

4.2. Alıştırma


$CaCO_3(k) \rightarrow CaO(k) + CO_2(g)$

Yukarıdaki tepkimeye göre 89,17 kJ enerji harcandığında

a) Kaç mol $CaCO_3$ harcanır?

b) Kaç g sönmemiş kireç oluşur?

c) Oluşan CO_2 gazının normal koşullardaki hacmi kaç litredir?

(Standart oluşum entalpileri: $\Delta H°_{CaCO_3(k)} = -1206,92$ kJ/mol,

$\Delta H°_{CaO(k)} = -635,08$ kJ/mol, $\Delta H°_{CO_2(g)} = -393,5$ kJ/mol, Ca: 40, O: 16, C: 12)

4.3. Alıştırma

Aşağıdaki tepkimelerin entalpilerini Tablo 4.3'teki verileri kullanarak hesaplayınız?

a) $C_2H_2(g) + H_2(g) \rightarrow C_2H_4(g)$

b) $CH_3OH(s) + 3/2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$

c) $CO_2(g) + H_2(g) \rightarrow CO(g) + H_2O(g)$

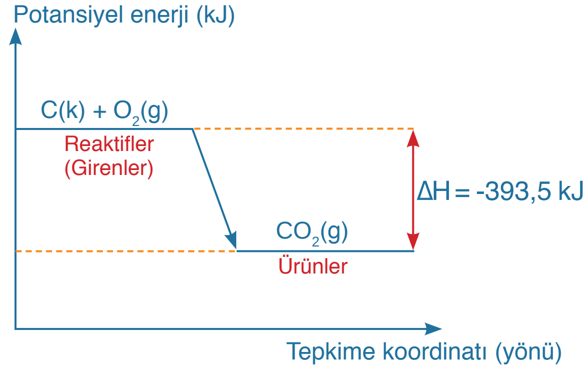
4.4. Alıştırma

Yukarıda bazı bileşiklerin standart oluşum entalpileri verilmiştir.
$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(s)$ tepkimesine göre 0,5 mol CH_4 gazı yeterince oksijen gazı ile yakılıyor. Buna göre açığa çıkan ısı kaç kJ'dür?

Bileşik	Standart Oluşum Entalpisi (kJ/mol)
$CH_4(g)$	-74,8
$CO_2(g)$	-393,5
$H_2O(s)$	-285,8

Ekzotermik tepkimenin potansiyel enerji – tepkime koordinatı Grafik 4.1'de verilmiştir.

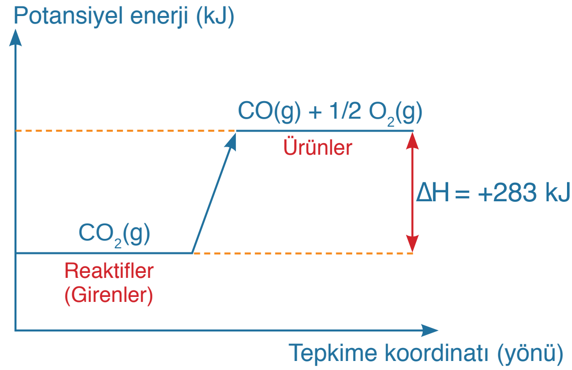
$C(k) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 393{,}5$ kJ tepkimesinde meydana gelen entalpi değişimi diyagramı aşağıdaki gibidir:



***Grafik 4.1:** Ekzotermik tepkimenin potansiyel enerji tepkime koordinatı grafiği*

Endotermik tepkimenin potansiyel enerji – tepkime koordinatı Grafik 4.2'de verilmiştir.

$CO_2(g) + 283$ kJ $\rightarrow CO(g) + 1/2\ O_2(g)$ tepkimesinde meydana gelen entalpi değişimi diyagramı aşağıdaki gibidir:



***Grafik 4.2:** Endotermik tepkimenin potansiyel enerji tepkime koordinatı grafiği*

***Tablo 4.4:** Karbonun Yanması Sonucu Açığa Çıkan Isı Miktarı*

Karbon Kütlesi (g)	Açığa Çıkan Isı (kJ)
12	393,5
18	590,25
24	787
30	983,75

***Tablo 4.5:** Hidrojenin Yanması Sonucu Açığa Çıkan Isı Miktarı*

H_2'nin Mol Sayısı	Açığa Çıkan Isı (kJ)
0,5	142,9
1	285,8
1,5	428,7
2	571,6

c) Tepkimelerin Entalpileri ile Madde Miktarı Arasındaki İlişkinin Elektronik Tablolama Programı Kullanılarak Kurgulanması

- Aşağıdaki tepkime ile ilgili kütle-entalpi değişim değerleri Tablo 4.4'te verilmiştir. Bu değerlerden yararlanarak elektronik tablolama programı kullanarak kütle-entalpi grafiğini oluşturunuz ve bu grafiği yorumlayınız.

$C(k) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H^o = -393{,}5$ kJ/mol

- Aşağıdaki tepkime ile ilgili mol-entalpi değişim değerleri Tablo 4.5'te verilmiştir. Bu değerlerden yararlanarak, elektronik tablolama programını kullanarak mol-entalpi grafiğini oluşturunuz ve bu grafiği yorumlayınız.

$H_2(g) + 1/2\ O_2(g) \rightarrow H_2O(s) \qquad \Delta H^o = -285{,}8$ kJ/mol

ç) Sodyum Hidroksitin (NaOH) Sudaki Molar Çözünme Entalpisinin Tayini

4.3 ETKİNLİK

Etkinliğin Adı: **Sodyum Hidroksitin Sudaki Molar Çözünme Entalpisinin Tayini**

Etkinliğin Amacı: NaOH'in sudaki molar çözünme entalpisini belirlemek

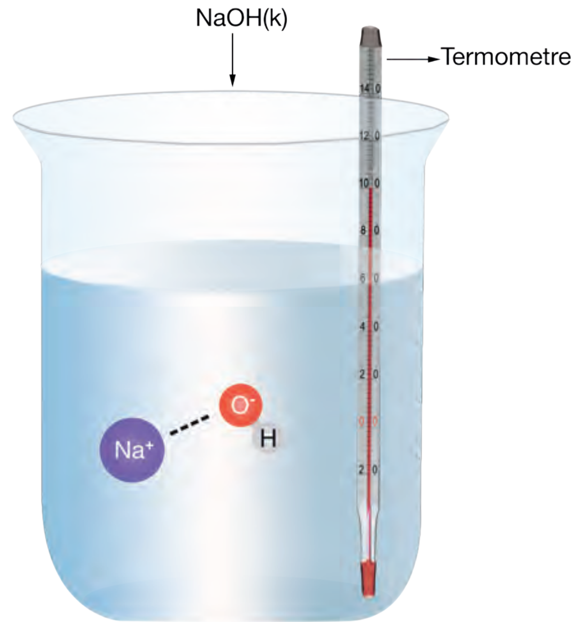
Etkinliğin Süresi: 40 dakika

Araç ve Gereçler

- Sodyum hidroksit
- Beher (500 mL)
- Termometre
- Terazi
- Cam baget

Uygulama Aşamaları

1. 10 g (0,25 mol) NaOH katısını tartınız.
2. 500 mL'lik behere 400 mL su ekleyiniz.
3. Suyun ilk sıcaklığını ölçünüz.
4. Beherdeki suyun üzerine NaOH katısını yavaş yavaş ekleyerek çözeltiyi karıştırınız.
5. Termometredeki sıcaklık değerlerini belirli aralıklarla ölçerek kaydediniz.
6. Çözünme işlemi tamamlandıktan sonra termometredeki son sıcaklık değerini kaydediniz.
7. Son sıcaklık ile başlangıç sıcaklığı arasındaki farkı belirleyiniz.



Etkinliğin Değerlendirilmesi

NaOH bileşiği suda çözündüğünde suyun sıcaklığı nasıl değişir? Suyun sıcaklığındaki değişimin nedenini yorumlayınız.

Su-cam kap sisteminin sıcaklığındaki değişim miktarı kaç °C'dir?

c_{cam} = 0,84 J/g°C ve c_{su} = 4,18 J/g°C olduğuna göre Q = m c Δt bağıntısından yararlanarak toplam ısı ($Q_{top} = Q_{cam} + Q_{su}$) kaç kJ'dür?

0,25 mol NaOH'in çözünmesiyle açığa çıkan ısıyı hesapladıktan sonra 1 mol NaOH'in molar çözünme entalpisini bulunuz. Bulduğunuz sonuç ile NaOH'in gerçek molar çözünme entalpisini karşılaştırınız. Gerçek veriye göre fark varsa bunun nedenini tartışınız.

3. BÖLÜM

BAĞ ENERJİLERİ

- *Bağ enerjisinden nerelerde faydalanabiliriz?*
- *Bağ enerjisi tepkime entalpisini nasıl etkiler?*
- *Bağ enerjisi maddenin kararlılığını nasıl etkiler?*

4.3.1. Bağ Enerjileri ile Tepkime Entalpisi Arasındaki İlişki

Kimyasal bir tepkimeye giren maddelerdeki atomlar arası bağlar kopar ve yeni bağların oluşmasıyla ürünler meydana gelir. Bağların kopması ve oluşmasına eşlik eden entalpi değişimi bilinirse tepkime entalpisi hesaplanabilir. Bir bağın kuvveti bağ entalpisi ile ölçülür. Bağ enerjisi, molekülünün standart molar entalpisi ile molekülün gaz fazındaki bileşenlerinin standart molar entalpileri arasındaki farktır.

Örgü entalpisi, sabit basınçta iyonik bir maddeyi iyonlarına parçalamak için gerekli ısıya eşitken bağ entalpisi; belirli bir bağ türünü koparmak için gerekli ısıya eşittir. Örneğin H_2 molekülünün bağ oluşum entalpisi ile bağ kırılma enerjileri birbirine eşittir. Ancak işaretleri birbirine zıttır. Entalpi değerlerinin zıt işaretli olmasının sebebi bağ kırılmasının endotermik, bağ oluşumunun ise ekzotermik olay olmasıdır.

$H_2(g) \rightarrow 2H(g)$ $\Delta H = +436$ kJ/mol (bağ kırılması)

$2H(g) \rightarrow H_2(g)$ $\Delta H = -436$ kJ/mol (bağ oluşması)

$N_2(g) \rightarrow 2N(g)$ $\Delta H = +941$ kJ/mol (bağ kırılması)

$2N(g) \rightarrow N_2(g)$ $\Delta H = -941$ kJ/mol (bağ oluşması)

Moleküler bir gazın bir molünün atomlarını bir arada tutan bağın standart şartlarda kırılması için gerekli olan enerjiye **bağ enerjisi** veya **bağ kırılma entalpisi** denir.

a) Oluşan ve Kırılan Bağ Enerjileri Üzerinden Tepkime Entalpisi Hesaplanması

Bağ enerjisinin hesaplanabilmesi için hem girenlerin hem de ürünlerin gaz hâlde olması gerekir. Bağ enerjilerinin hesaplanması ile kimyasal bağların sağlamlığı hakkında yorumlar yapılabilir. Bağ enerjisi ne kadar büyükse kimyasal bağ o kadar güçlüdür. Bağ enerjileri kullanılarak da reaksiyonların standart entalpi değişimleri hesaplanabilir.

Tepkimeye girenlerin bağlarını koparmak ve ürünlerin bağlarını oluşturmak için gerekli toplam enerjiyi belirlemede ortalama bağ enerjisi kullanılarak tepkime entalpileri tahmin edilebilir. Uygulamada sadece değişime uğrayan bağlar göz önüne alınır. Bağ enerjileri ikili veya üçlü bağ içeren moleküller için de hesaplanabilir. Bağ sayısı arttıkça bağ enerjisi de artar.

Tablo 4.6'da bazı atomların arasındaki ortalama bağ enerjileri verilmiştir.

***Tablo 4.6:** Ortalama Bağ Enerjileri*

Bağ	Ortalama Bağ Enerjileri (kJ/mol)	Bağ	Ortalama Bağ Enerjileri (kJ/mol)
C – H	414	N – N	193
C – C	347	N = N	418
C = C	620	N ≡ N	941
C ≡ C	812	N – H	393
H – H	436	N – O	176
H – F	568	N = O	607
H – Cl	431	N – F	195
H – Br	366	N – Cl	381
H – I	298	C – N	276
Cl – Cl	243	C ≡ N	891
O – O	142	C – F	450
O = O	499	C – O	351
O – H	460	C = O	745
S – H	368	C – Cl	338

Isı değişimi olan kimyasal bir tepkimede, enerji değişimi reaktiflere ait bağların kırılma enerjileri toplamı ile ürünlerin bağlarının oluşma enerjileri arasındaki farka eşittir.

$$\Delta H^\circ = [H^\circ_{\text{kırılan bağ enerjileri}} - H^\circ_{\text{oluşan bağ enerjileri}}]$$

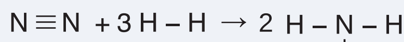
Bir tepkimede kırılan bağ enerjileri toplamı, oluşan bağ enerjileri toplamından büyükse tepkime endotermik ($\Delta H > 0$), küçükse tepkime ekzotermiktir ($\Delta H < 0$).

Örnek

$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$ tepkimesinin entalpisi $\Delta H = -109$ kJ/mol'dür.

Bağ enerjileri: N ≡ N: 941 kJ/mol, H – H: 436 kJ/mol olduğuna göre N – H bağının bağ enerjisi kaç kJ/mol'dür?

Çözüm



$\Delta H^\circ = [H^\circ_{\text{kırılan bağ enerjileri}} - H^\circ_{\text{oluşan bağ enerjileri}}]$

$-109 = 941 + 3.(436) - 6.(N - H)$

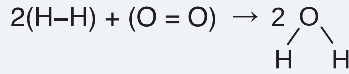
N – H: 393 kJ/mol

Örnek

Hidrojen gazının yanma tepkimesinin entalpisini bağ enerjilerini kullanarak hesaplayınız.

Çözüm

$$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g)$$



$$2(H–H) + (O = O) \rightarrow 2\ H–O–H$$

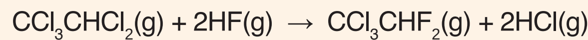
Kırılan bağ türü	Kırılan bağ sayısı	Bağ enerjisi (kJ/mol)	Enerji değişimi (kJ/mol)
H – H	2	436	872
O = O	1	499	499

Oluşan bağ türü	Oluşan bağ sayısı	Bağ enerjisi (kJ/mol)	Enerji değişimi (kJ/mol)
O–H	4	460	1840

$$\Delta H^o = [H^o_{\text{kırılan bağ enerjileri}} - H^o_{\text{oluşan bağ enerjileri}}]$$

$$\Delta H^o = [(872 + 499)-(1840)] = -469 \text{ kJ/mol}$$

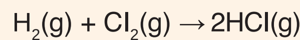
4.5. Alıştırma



$$CCl_3CHCl_2(g) + 2HF(g) \rightarrow CCl_3CHF_2(g) + 2HCl(g)$$

tepkimesinin entalpisini bağ enerjilerini kullanarak kJ/mol cinsinden hesaplayınız? Ortalama bağ enerjileri için Tablo 4.6'daki verileri kullanınız.

4.6. Alıştırma



$$H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2HCl(g)$$

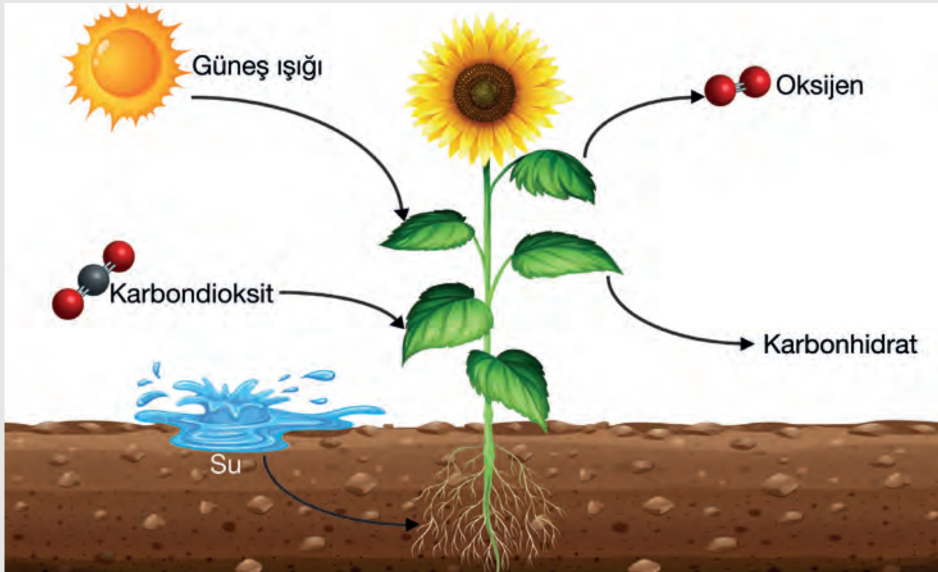
tepkimesinin entalpisini bağ enerjilerini kullanarak kJ/mol cinsinden hesaplayınız? Ortalama bağ enerjileri için Tablo 4.6'daki verileri kullanınız.

OKUMA PARÇASI

Bağ Enerjisinin Güneş ve İnsan ile İlişkisi

Çevrede gelişen bütün olaylar enerji değişimi ile gerçekleşir. Enerji iş yapabilme yeteneğidir. Enerji, görülmez ancak enerjinin etkileri hissedilir. Güneş, Dünya'daki bütün enerjilerin temel kaynağıdır. Güneş'teki enerjinin temel kaynağı nükleer enerjidir. Güneş'teki hidrojen atomları radyoaktif (çekirdek) tepkimeleri ile helyum atomlarına dönüşür. Bu dönüşüm sonucunda çok büyük miktarda enerji açığa çıkar. Açığa çıkan bu enerjinin çok az bir kısmı ışıma yoluyla Dünya'ya ulaşır.

Enerji yaşamın sürekliliğini sağlar. Canlılar hayatlarını sürdürebilmek için enerjiye ihtiyaç duyar. Hücreler, canlılarda enerjiyi sağlayan birimlerdir. Güneş enerjisini, yeşil bitkiler fotosentez (Görsel 4.6) olayı ile kimyasal enerjiye dönüştürür. Hayvanlar, bitkilerle veya bitki yiyen hayvanlarla beslenerek enerji ihtiyaçlarını karşılar. Bitkiler, enerjiyi fotosentez yoluyla güneş ışığından elde ederken hayvanlar enerjiyi besin şeklinde alır. Yeşil bitkiler Güneş enerjisini fotosentezle kimyasal bağ enerjisine dönüştürerek besin moleküllerinde depo eder. Bitkilerde görülen büyüme, gelişme, üreme, irkilme gibi canlılık olayları glikozun enerjisi ile sağlanır. Besin molekülleri insan ve hayvanlar tarafından alınarak hücrelerinde kullanabileceği yeni bir kimyasal enerji hâline dönüşür. Dönüşen bu enerji ATP (Adenozintrifosfat) molekülünün kimyasal bağlarında saklanır. Kimyasal enerji ATP moleküllerin atomları arasındaki bağlarda depo edilmiştir. Hücre içinde bu bağlar koparılarak enerji açığa çıkarılır. Canlıların hayati faaliyetlerinin tümünün temel enerji kaynağı ATP molekülünün bağlarında depolanan enerjidir.



Görsel 4.6: *Fotosentez olayı*

Bağ enerjisi, Güneş enerjisini kullanılabilir enerjiye dönüştürür. Yakıt olarak kullanılan kömür, daha çok bitki atıklarının; petrol ise bitki ve hayvan atıklarının belirli basınç ve sıcaklıkta milyonlarca yıldaki dönüşümüyle gerçekleşir. Petrol, rafinerilerde işlenerek ürünlerine ayrıştırılır. Benzin, mazot, LPG gibi petrol ürünleri motorlu araçlarda yakıt olarak kullanılır. Kömür ısıtma işlemlerinde ve termik santrallerde elektrik üretiminde kullanılır. Aynı zamanda yenilenebilir bir enerji olan Güneş enerjisi elektrik üretiminde önemli bir kaynak olabilir. Güneş enerjisinden yararlanmak, çevrenin korunmasına ve ülke ekonomisinin gelişmesine çok önemli katkı sağlar.

Yazarlar tarafından düzenlenmiştir.

4. BÖLÜM

TEPKİME ISILARININ TOPLANABİLİRLİĞİ

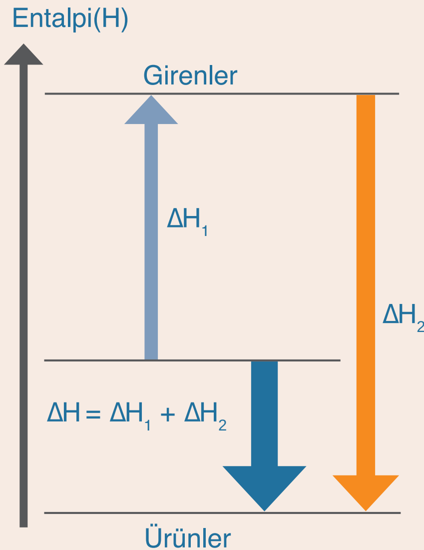
- *Tepkimeler toplandığında entalpiler de toplanır mı?*
- *Tepkimeler ters çevrildiğinde ve bir sayı ile çarpıldığında tepkime entalpisi nasıl etkilenir?*

Görsel 4.7: *Germain Hess (Temsilî)*

4.4.1. Hess Yasası

Birçok bileşik, elementlerinden doğrudan elde edilemez. Bazen tepkimeler çok yavaştır veya tepkimelerden elde edilmek istenen bileşik, birden fazla basamaktan meydana gelen tepkimeler sonucu oluşabilir. Böyle durumlarda ΔH^o dolaylı bir yöntemle bulunur. Dolaylı yöntem Hess'in tepkime ısılarının toplanabilirliği ilkesine dayanır ve adını İsviçreli kimyacı Germain Hess'ten (Cörmin Hes) alır (Görsel 4.7). **Hess Yasası'na** göre "Tepkimeye girenlerin ürünlere dönüşümündeki entalpi değişimi, tepkimenin bir basamakta veya birden fazla basamakta gerçekleşmesine bağlı olmaksızın aynı değerdedir." Diğer bir deyişle herhangi bir tepkimenin ΔH^o değerini bulmak için bu tepkime, toplamları yine kendisini verecek şekilde bir seri tepkimeye bölünür. Toplam tepkime için ΔH^o değeri bölünen bu ara basamaklardan bulunur. Hess Yasası, H'nin bir hâl fonksiyonu olması esasına dayanır. ΔH^o değeri ilk ve son hâle bağlıdır. Entalpi değişimi tepkimenin bir basamakta veya birden fazla basamakta gerçekleşmesine bağlı değildir.

Hess Yasası ile ilgili bir benzetme şu şekilde yapılabilir: Bir binanın birinci katından altıncı katına asansörle çıkılmak istensin. İster binanın altıncı katına doğrudan çıkılsın, isterse her katında durarak çıkılsın kazanılan potansiyel enerji her katta durulmasına veya doğrudan altıncı kata çıkılmasına bağlı olmaksızın aynı değerdedir.



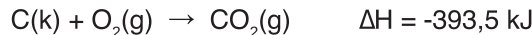
Görsel 4.8: *Ara tepkimelerin entalpileri toplamı*

Ara basamak tepkimelerinin denk olması gerekir. Her bir tepkimenin toplanmasıyla hedef tepkimenin entalpisi, uygun tepkimeler dizisinden yararlanılarak hesaplanabilir. Tepkimenin entalpi değişimi (ΔH), tepkimeyi oluşturan ara basamakların entalpi değişimleri toplamına eşittir.

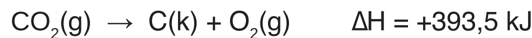
$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + ...$ şeklinde ifade edilir (Görsel 4.8).

Hess Yasası'na göre entalpi değişimi hesaplanacak olan tepkimenin elde ediliş denklemini verecek ara basamak tepkimeleri düzenlenir. Bu düzenleme de şu kurallara uyulur:

- Tepkime ters çevrildiğinde ΔH değerinin işareti değişir.

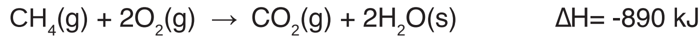


$C(k) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \quad \Delta H = -393,5 \text{ kJ}$



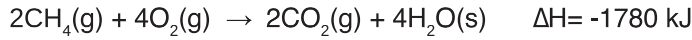
$CO_2(g) \rightarrow C(k) + O_2(g) \quad \Delta H = +393,5 \text{ kJ}$

- Tepkimeler, bir katsayı ile çarpıldığında ΔH değeri de aynı katsayı ile çarpılır.



$$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(s) \qquad \Delta H= -890\ kJ$$

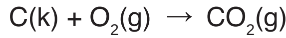
Tepkime 2 katsayısı ile çarpılırsa



$$2CH_4(g) + 4O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 4H_2O(s) \qquad \Delta H= -1780\ kJ$$

- Tepkimeler, taraf tarafa toplandığında ΔH değerleri de toplanır.

Hess Yasası'na örnek olarak karbonun karbondiokside yükseltgenmesi



$$C(k) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$$

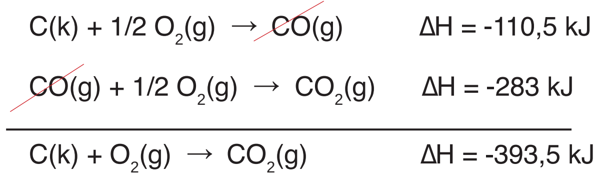
ele alınırsa tepkimenin iki basamakta gerçekleştiği söylenebilir. İlk basamakta karbon, karbon monokside yükseltgenir.

$$C(k) + 1/2\ O_2(g) \rightarrow CO(g) \qquad \Delta H= -110,5\ kJ$$

İkinci basamakta ise karbon monoksit karbondiokside yükseltgenir.

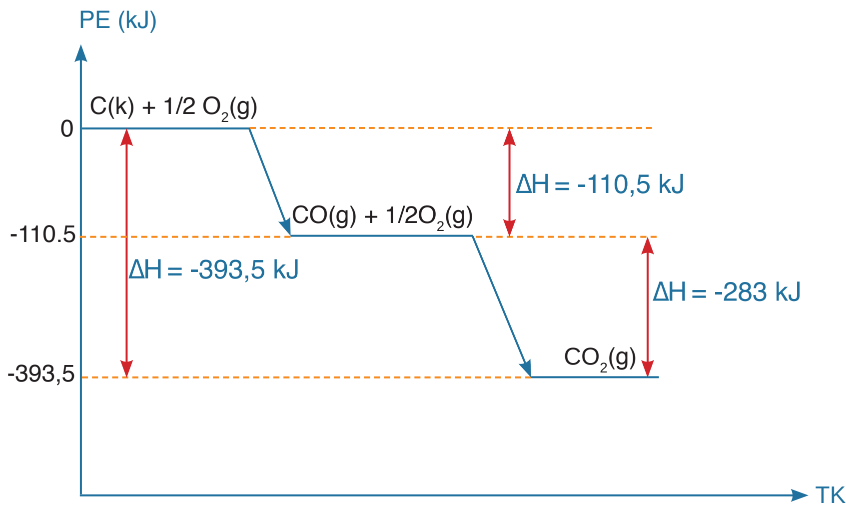
$$CO(g) + 1/2\ O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H= -283\ kJ$$

Bir tepkimedeki ürünlerin diğer tepkimede giren olarak yer aldığı bu iki basamaklı işlem, bir tepkime dizisine örnektir. Toplam tepkime eşitliği için bu dizinin net sonucuna ara basamaklardaki eşitliklerin toplanması ile ulaşılabilir.



$$C(k) + 1/2\ O_2(g) \rightarrow \cancel{CO}(g) \qquad \Delta H = -110,5\ kJ$$
$$\cancel{CO}(g) + 1/2\ O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H = -283\ kJ$$
$$C(k) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H = -393,5\ kJ$$

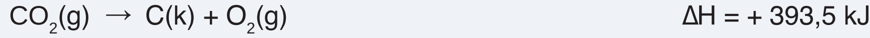
Grafik 4.3'te karbondioksidin yukarıdaki ara basamak tepkimelerden oluştuğu entalpi değişimi verilmiştir.

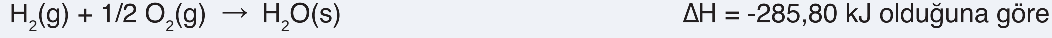


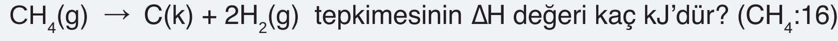
***Grafik 4.3:** Ara basamaklarla oluşan CO_2'in entalpi değişimi*

Örnek

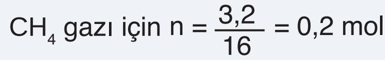
$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(s)$ tepkimesine göre 3,2 g CH_4 gazının yanmasından 178 kJ ısı açığa çıkmaktadır.


$CO_2(g) \rightarrow C(k) + O_2(g)$ $\Delta H = +393,5$ kJ


$H_2(g) + 1/2\ O_2(g) \rightarrow H_2O(s)$ $\Delta H = -285,80$ kJ olduğuna göre

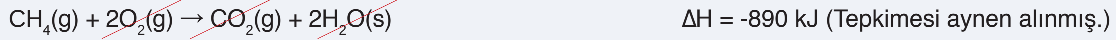

$CH_4(g) \rightarrow C(k) + 2H_2(g)$ tepkimesinin ΔH değeri kaç kJ'dür? (CH_4:16)

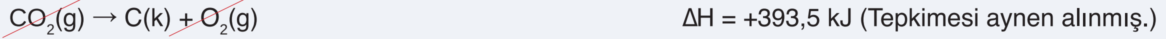
Çözüm

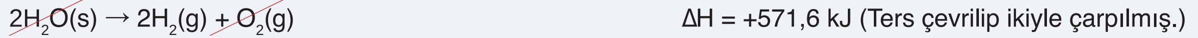

CH_4 gazı için $n = \frac{3,2}{16} = 0,2$ mol

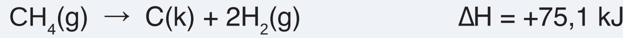
0,2 mol CH_4 gazı yanınca 178 kJ ısı açığa çıktığına göre

1 mol CH_4 gazı yanınca 890 kJ ısı açığa çıkar.

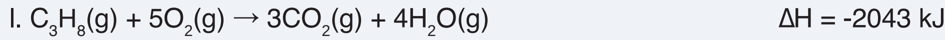

$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(s)$ $\Delta H = -890$ kJ (Tepkimesi aynen alınmış.)

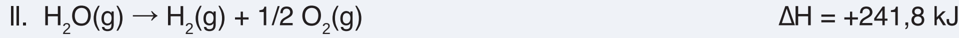

$CO_2(g) \rightarrow C(k) + O_2(g)$ $\Delta H = +393,5$ kJ (Tepkimesi aynen alınmış.)

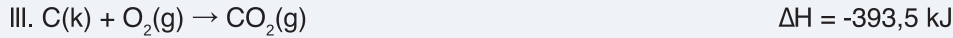

$2H_2O(s) \rightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$ $\Delta H = +571,6$ kJ (Ters çevrilip ikiyle çarpılmış.)


$CH_4(g) \rightarrow C(k) + 2H_2(g)$ $\Delta H = +75,1$ kJ

Örnek

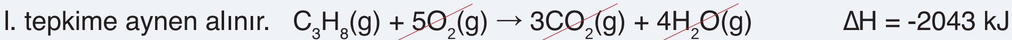

I. $C_3H_8(g) + 5O_2(g) \rightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(g)$ $\Delta H = -2043$ kJ

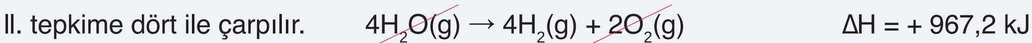

II. $H_2O(g) \rightarrow H_2(g) + 1/2\ O_2(g)$ $\Delta H = +241,8$ kJ

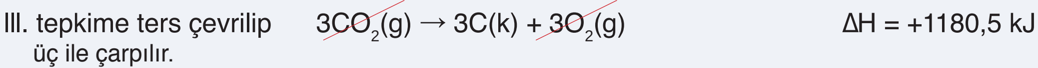

III. $C(k) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ $\Delta H = -393,5$ kJ

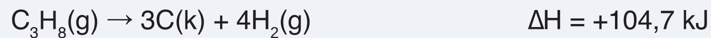
Tepkimeleri bilindiğine göre $C_3H_8(g) \rightarrow 3C(k) + 4H_2(g)$ tepkimesinde 4 g H_2 gazı oluştuğunda kaç kJ ısı harcanır? (H:1)

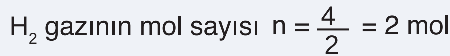
Çözüm

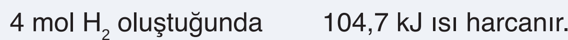

I. tepkime aynen alınır. $C_3H_8(g) + 5O_2(g) \rightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(g)$ $\Delta H = -2043$ kJ

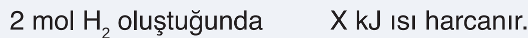

II. tepkime dört ile çarpılır. $4H_2O(g) \rightarrow 4H_2(g) + 2O_2(g)$ $\Delta H = +967,2$ kJ


III. tepkime ters çevrilip üç ile çarpılır. $3CO_2(g) \rightarrow 3C(k) + 3O_2(g)$ $\Delta H = +1180,5$ kJ


$C_3H_8(g) \rightarrow 3C(k) + 4H_2(g)$ $\Delta H = +104,7$ kJ


H_2 gazının mol sayısı $n = \frac{4}{2} = 2$ mol


4 mol H_2 oluştuğunda 104,7 kJ ısı harcanır.


2 mol H_2 oluştuğunda X kJ ısı harcanır.

X= 52,35 kJ

4.7. Alıştırma

I. $2Fe(k) + CO_2(g) \rightarrow 2FeO(k) + C(k)$ $\Delta H = -145$ kJ

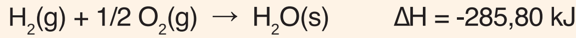
II. $4FeO(k) + CO_2(g) \rightarrow 2Fe_2O_3(k) + C(k)$ $\Delta H = -176$ kJ

III. $CO_2(g) \rightarrow C(k) + O_2(g)$ $\Delta H = +394$ kJ

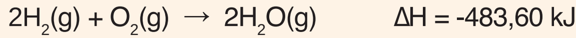
Yukarıda bazı tepkimelerin entalpi değerleri verilmiştir. Buna göre

$Fe_2O_3(k) \rightarrow 2Fe(k) + 3/2\ O_2(g)$ tepkimesinin entalpisi kaç kJ'dür?

4.8. Alıştırma



$H_2(g) + 1/2\ O_2(g) \rightarrow H_2O(s)$ $\Delta H = -285,80$ kJ



$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g)$ $\Delta H = -483,60$ kJ

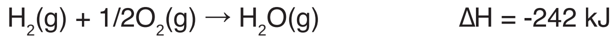
Tepkimeleri ve entalpi değişim değerlerine göre 27 g suyun buharlaşması için gereken ısı kaç kJ'dür? (H:1, O:16)

4.1. UYGULAMA SORULARI

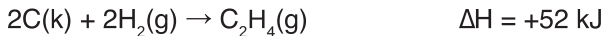
Aşağıdaki soruları cevaplayınız.

1.

$C(k) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ $\Delta H = -393$ kJ



$H_2(g) + 1/2O_2(g) \rightarrow H_2O(g)$ $\Delta H = -242$ kJ



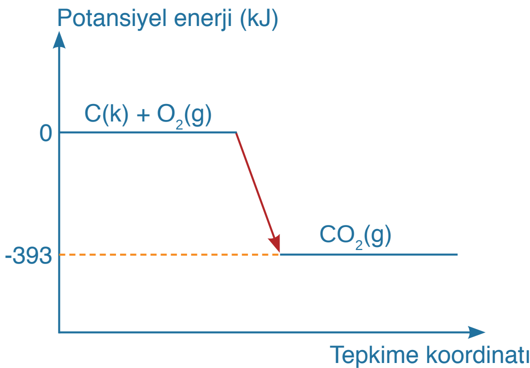
$2C(k) + 2H_2(g) \rightarrow C_2H_4(g)$ $\Delta H = +52$ kJ

Yukarıda verilen tepkime denklemlerine göre 0,2 mol C_2H_4 gazı uygun koşullarda yeterince O_2 gazı ile yakıldığında kaç kJ ısı açığa çıkar?

2. Asetilen (C_2H_2) gazının yanma tepkimesinin entalpisini bağ enerjilerini kullanarak hesaplayınız?

Bağ	C≡C	C – H	O = O	C = O	O – H
Bağ Enerjisi (kJ/mol)	812	414	500	745	460

3.



$C(k) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ tepkimesinin potansiyel enerji değişimi yandaki grafikte verilmiştir. Buna göre

a) CO_2 gazının molar oluşum entalpisi kaç kJ/mol'dür?

b) Tepkime endotermik mi, ekzotermik midir?

4. ÜNİTE ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A **Aşağıda verilen bilgilere göre soruları cevaplandırınız.**

TEPKİME ENTALPİSİ

Maddelerin entalpi değerleri, genel olarak 25 °C sıcaklık ve 1 atm basınçta ölçülür. Bu değerlere standart entalpi denir. Bir bileşiğin standart koşullarda elementlerinden oluştuğu tepkimenin entalpisine bileşiğin standart oluşum entalpisi denir. Elementlerin en kararlı hâllerinin standart oluşum entalpileri sıfırdır.

Tepkimelerin entalpi değerleri, oluşum entalpilerinden yararlanarak aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$\Delta H = \sum nH^o_{ü} - \sum nH^o_g$$

Tepkime entalpisi, kimyasal bir tepkimede enerji değişimi reaktiflere ait bağların kırılma enerjileri toplamı ile ürünlerin bağlarının oluşma enerjileri arasındaki farka eşittir. Tepkimelerin entalpi değerleri bağ enerjilerinden yararlanarak aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$\Delta H^o = [H^o_{\text{kırılan bağ enerjileri}} - H^o_{\text{oluşan bağ enerjileri}}]$$

Bu bilgilere göre tablodaki verileri kullanarak,

$C_4H_{10}(g) + 13/2O_2(g) \rightarrow 4CO_2(g) + 5H_2O(g)$ tepkimesi için aşağıdaki soruları yanıtlayınız.

Bağ	Ortalama Bağ Enerjileri (kJ/mol)	Bileşik	Bileşik Standart Oluşum Entalpisi (kJ/mol)
C – H	414	$C_4H_{10}(g)$	-125,60
C – C	347	$CO_2(g)$	-393,50
C = O	745	$H_2O(g)$	-241,80
O = O	499		
O – H	460		

1. Bağ enerjilerini kullanarak tepkime entalpisini hesaplayınız.

2. Oluşum entalpilerini kullanarak tepkime entalpisini hesaplayınız.

3. Bulduğunuz sonuçları değerlendirerek tepkimenin ekzotermik veya endotermik olduğunu belirtiniz.

4. Girenlerdeki ve ürünlerdeki bağ enerjilerinin tepkime entalpisine etkisini açıklayınız.

B **Aşağıdaki kavramlar ile ilgili verilen bilgileri doğru (D) ya da yanlış (Y) olarak belirtiniz. Yanlış ise nedenini yazınız.**

Kavramlar		D/Y	Yanlış ise Nedenini Yazınız
5.	**Tepkimelerde ısı değişimi**		
a)	Bulunduğu ortama ısı vererek gerçekleşen tepkimelere ekzotermik tepkimeler denir.		
b)	Isı birimi °C'dir.		
c)	Endotermik tepkimelerde ürünlerin enerjisi girenlerin enerjisinden düşüktür.		
ç)	Endotermik tepkimelerde $\Delta H > 0$ olur.		
d)	Bir kimyasal tepkimede alınan ya da verilen ısıya tepkime entalpisi denir.		
6.	**Oluşum entalpileri**		
a)	Elementlerin en kararlı hâlinin standart oluşum entalpileri sıfır kabul edilir.		
b)	Oda koşullarında demir elementinin sıvı hâlinin standart oluşum entalpisi sıfırdır.		
c)	Standart koşullarda sıcaklık 0 °C basınç 1 atm'dir.		
ç)	Madde miktarı tepkime entalpisini etkilemez.		
d)	$C(k) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ tepkimesinin entalpi değeri $CO_2(g)$'nin oluşum entalpisine eşittir.		
e)	$H_2O(k)$ ve $H_2O(g)$'nın oluşum entalpileri eşittir.		
7.	**Bağ enerjileri**		
a)	Girenlerin bağ enerjileri toplamı ürünlerin bağ enerjileri toplamından büyük olan tepkimeler endotermiktir.		
b)	Bağ oluşması ısı alan bir olaydır.		
c)	Bağ enerjisi negatif bir değer olabilir.		
ç)	Bağ enerjisi fazlalaştıkça molekülün kararlılığı azalır.		
8.	**Tepkime ısılarının toplanabilirliği**		
a)	Bir tepkime ters çevrilirse tepkime entalpisinin işareti değişir.		
b)	Tepkimeler bir katsayı ile çarpıldığında tepkime entalpisi değerinde değişiklik olmaz.		
c)	Tepkimenin entalpi değişimi, tepkimeyi oluşturan ara basamakların entalpi değişimleri toplamına eşittir.		
ç)	İki ara basamağı ekzotermik olan bir tepkimenin entalpisi pozitif bir değerdir.		

C Aşağıdaki kutularda verilen ifadelerden uygun olanları boşluklara yazınız.

yüksek	+90	kalori	120,9
düşük	endotermik	yanma entalpisi	entalpi
oluşum entalpisi	bağ enerjisi	ekzotermik	pozitif
-90	sıfır	Hess Yasası	girenler

9. Elementlerin kararlı hâllerinin standart oluşum entalpi değeri ....kabul edilir.

10. ....tepkimelerde girenlerin entalpileri, ürünlerin entalpilerinden büyüktür.

11. Yanma tepkimelerinde ürünlerin entalpileri toplamı girenlerden daha ....olur.

12. Bileşiğin kararlı elementlerinden oluşurken meydana gelen ısı değişimine bileşiğin .... denir.

13. $CaCO_3(k) + 180\ kJ \rightarrow CaO(k) + CO_2(g)$ tepkimesine göre 0,5 mol $CO_2(g)$ oluştuğunda ısı değişimi .... kJ olur.

14. Endotermik tepkimelerde girenlerin .... ürünlerinkinden daha büyüktür

15. Ara basamakların toplanarak tepkime entalpisinin bulunması .... ile yapılır.

16. $H_2(g) + 1/2O_2(g) \rightarrow H_2O(g) + 241,8\ kJ$ olduğuna göre 9 g $H_2O(g)$ oluştuğunda .... kJ ısı açığa çıkar. (H_2O:18)

17. Joule ve ....ısı birimidir.

18. Sabit basınç altında gerçekleşen tepkimelerde alınan veya verilen ısıya .... denir.

19. $Al(g) \rightarrow Al^+ + e^-$ tepkimesinin entalpisi .... bir değerdir.

20. $C(k) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ + ısı tepkimesinde yüksek sıcaklıkta .... daha kararlıdır.

Ç Aşağıdaki açık uçlu soruları cevaplayınız.

21. Ekzotermik ve endotermik tepkime nedir? Aşağıdaki tabloda verilen olayların özelliklerini karşılarındaki bölümlere yazınız.

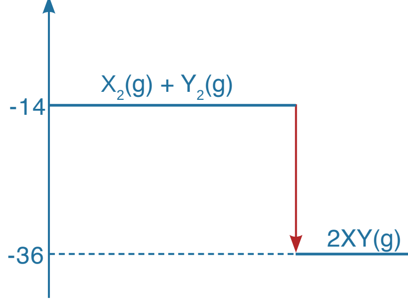
Olay	Ekzotermik/Endotermik	Fiziksel/Kimyasal
1. $2H_2O(s) \rightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$		
2. $H_2O(k) \rightarrow H_2O(s)$		
3. $CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$		
4. $NaCl(k) \rightarrow NaCl(suda)$		
5. $CaCO_3(k)$ + ısı $\rightarrow CaO(k) + CO_2(g)$		
6. $Na \rightarrow Na^+ + e^-$		

22. Ekzotermik ve endotermik tepkimelerin potansiyel enerji-tepkime koordinatı grafiklerini çiziniz.

23. Tepkime ısısına etki eden faktörleri yazarak kısaca açıklayınız.

24. Bağ enerjisi nedir? Atomlar arası bağların kopması ve oluşmasını ekzotermik ya da endotermik olarak ifade ediniz.

25.



$X_2(g) + Y_2(g) \rightarrow 2XY(g)$ tepkimesine ait entalpi diyagramı verilmiştir. Buna göre

a) Tepkime türü nedir?

b) Tepkimeye girenlerin ve ürünlerin entalpi değeri kaçtır?

c) Tepkime entalpisinin değeri kaçtır?

ç) Enerji yönünden tepkimeye girenler mi, ürünler mi daha kararlıdır?

d) 1 mol XY gazı oluştuğunda kaç kJ açığa çıkar?

e) $XY(g) \rightarrow 1/2\ X_2(g) + 1/2Y_2(g)$ tepkimesi için ΔH değeri kaçtır?

26. $C_2H_5OH(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(g)$ tepkimesinin entalpisini aşağıdaki verilerden yararlanarak hesaplayınız.

Bileşik	Standart Oluşum Entalpisi (kJ/mol)
$CO_2(g)$	-393,5
$H_2O(g)$	-241,8
$C_2H_5OH(s)$	-277,7

27. Aşağıdaki tabloda verilen olayları endotermik veya ekzotermik olarak işaretleyiniz.

Olay	Endotermik	Ekzotermik
Elektroliz		
Sıvı azotun buharlaşması		
O_2 gazının suda çözünmesi		
Suyun donması		
CO_2 gazının yoğunlaşması		
Pil tepkimeleri		
Nötralleşme tepkimeleri		
Atomlardan elektron koparma		
Fotosentez		

28. $CaO(k) + H_2O(s) \rightarrow Ca(OH)_2(suda)$ tepkimesi ile ilgili

a) ΔH^o değeri kaçtır?

b) 2,8 gram CaO kullanılırsa kaç kJ enerji açığa çıkar?

c) 9,52 kJ ısı açığa çıktığında kaç gram H_2O sıvısı tepkimeye girer?

(Standart oluşum entalpileri: CaO(k) = -635,08 kJ/mol, $H_2O(s)$ = -285,80 kJ/mol, $Ca(OH)_2(suda)$ = -968,48 kJ/mol, H:1, O:16, Ca:40)

29.

Bileşik	Standart Oluşum Entalpisi (kJ/mol)
$C_nH_{2n}(g)$	50
$H_2O(g)$	-240
$CO_2(g)$	-390

Bazı bileşiklerin standart oluşum entalpileri yandaki tabloda verilmiştir. 0,25 mol C_nH_{2n} gazı yakıldığında 327,5 kJ ısı açığa çıktığına göre C_nH_{2n} bileşiğindeki n sayısı kaçtır?

30. $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$ ΔH = -109 kJ

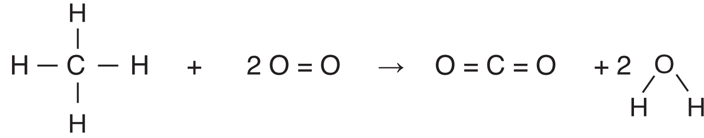
Bağ	Bağ Enerjisi (kJ/mol)
$N\equiv N$	941
N – H	393

$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$ tepkimesi ve oluşum entalpi değeri verilmiştir. Tablodaki verileri kullanarak H – H bağının bağ enerjisini kJ/mol olarak hesaplayınız.

31.

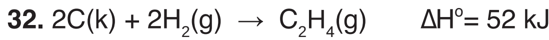
Bağ	Bağ Enerjisi (kJ/mol)
C – H	414
O = O	499
C = O	745
H – O	460

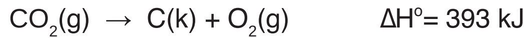
Yukarıda verilen atomlar arası bağ enerjilerine göre

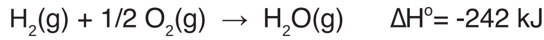


$$CH_4 + 2\,O{=}O \rightarrow O{=}C{=}O + 2\,H{-}O{-}H$$

tepkimesinin entalpi değişimi kaç kJ/mol'dür?

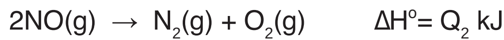
32. 
$2C(k) + 2H_2(g) \rightarrow C_2H_4(g) \quad \Delta H^o = 52$ kJ

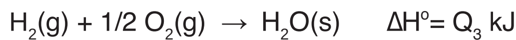

$CO_2(g) \rightarrow C(k) + O_2(g) \quad \Delta H^o = 393$ kJ


$H_2(g) + 1/2\ O_2(g) \rightarrow H_2O(g) \quad \Delta H^o = -242$ kJ

Yukarıda bazı tepkimeler ve entalpi değişimleri verilmiştir. Buna göre C_2H_4 (eten) gazının standart şartlarda molar yanma entalpisi kaç kJ'dür?

33.
$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g) \quad \Delta H^o = Q_1$ kJ


$2NO(g) \rightarrow N_2(g) + O_2(g) \quad \Delta H^o = Q_2$ kJ


$H_2(g) + 1/2\ O_2(g) \rightarrow H_2O(s) \quad \Delta H^o = Q_3$ kJ

Yukarıda bazı tepkimeler ve entalpi değişimleri verilmiştir. Buna göre

$2NH_3(g) + 5/2\ O_2(g) \rightarrow 2NO(g) + 3H_2O(s)$ tepkimesinin entalpi değişimini Q cinsinden hesaplayınız.

34.
$CaCO_3(k) + 180$ kJ $\rightarrow CaO(k) + CO_2(g)$ tepkimesine göre

a) Tepkimeye girenlerin ve oluşan ürünlerin enerji yönünden kararlılığını karşılaştırınız.

b) Tepkime entalpisinin değeri kaçtır?

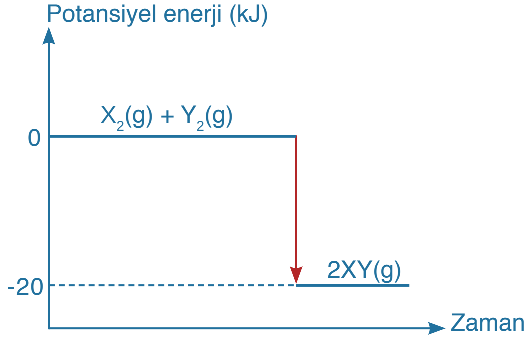
c) 20 g $CaCO_3$'ın ayrışması için kaç kJ ısı gerekir?

ç) $CaCO_3$ miktarının arttırılması tepkime entalpisini nasıl değiştirir?

(C:12, O:16, Ca:40)

D Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları cevaplayınız.

35. Standart şartlarda gerçekleştirilen $X_2(g) + Y_2(g) \rightarrow 2XY(g)$ tepkimesine ait potansiyel enerji-zaman grafiği aşağıda verilmiştir.



Buna göre, tepkimeyle ilgili aşağıdaki yargılardan hangisi yanlıştır?

A) Tepkime ekzotermiktir.

B) Tepkime entalpisi ΔH = -20 kJ'dür.

C) XY'nin molar oluşum ısısı -20 kJ/mol'dür.

D) Ürünler girenlerden daha kararlıdır.

E) Tepkimeye girenler element hâldedir.

36. Aşağıdakilerden hangisi ekzotermik bir olay değildir?

A) Alkolün donması

B) Oksijen gazının suda çözünmesi

C) Bağ oluşumu

D) Naftalinin süblimleşmesi

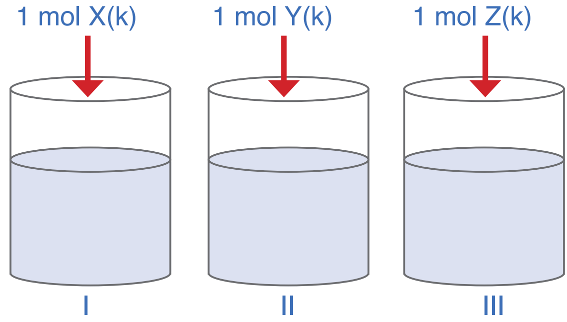
E) Asit-baz tepkimeleri

37. I. $X(k) \rightarrow X(suda) + 78$ kJ

II. $Y(k) \rightarrow Y(suda)$ ΔH = -120 kJ

III. $Z(k) + 87$ kJ $\rightarrow Z(suda)$

Yukarıda entalpi değişimleri verilen X, Y ve Z katılarının 1 molleri aynı sıcaklıkta eşit miktarda su bulunan aşağıdaki üç ayrı kaba ekleniyor.



Buna göre oluşan çözeltilerin son sıcaklıkları arasındaki ilişki aşağıdakilerden hangisinde doğru verilmiştir?

A) II > I > III B) III > I > II C) III > II > I

D) II > III > I E) I > III > II

38. Tepkime entalpisi

I. Maddenin türü ve miktarı

II. Basınç

III. Maddenin fiziksel hâli

IV. Tepkimenin izlediği yol

V. Sıcaklık

niceliklerinden hangilerine bağlıdır?

A) I, II, III, IV ve V

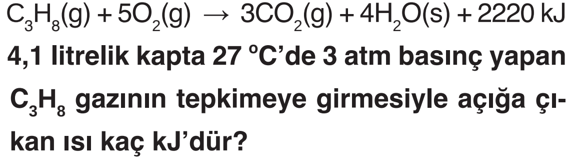
B) I, II, III ve V

C) I, II, IV ve V

D) I, II ve V

E) II ve V

39. Aşağıda C_3H_8 gazının yanma tepkimesi ve entalpi değişim değeri verilmiştir.

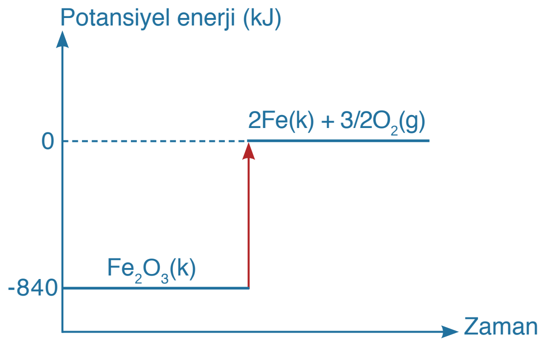


$C_3H_8(g) + 5O_2(g) \rightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(s) + 2220$ kJ

4,1 litrelik kapta 27 °C'de 3 atm basınç yapan C_3H_8 gazının tepkimeye girmesiyle açığa çıkan ısı kaç kJ'dür?

A) 555 B) 1110 C) 2220 D) 2840 E) 4440

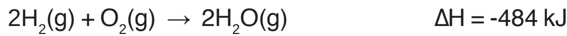
40. Standart şartlarda gerçekleştirilen $Fe_2O_3(k) \rightarrow 2Fe(k) + 3/2O_2(g)$ tepkimesine ait potansiyel enerji-zaman grafiği aşağıda verilmiştir.



Buna göre, tepkimeyle ilgili aşağıdaki yargılardan hangisi yanlıştır?

A) Tepkime entalpisi ΔH = + 840 kJ'dür.
B) Tepkime endotermiktir.
C) 0,4 mol Fe_2O_3 bileşiğinin ayrışması için 336 kJ ısı gerekir.
D) Ürünlerin standart koşullardaki oluşum entalpisi sıfırdır.
E) Fe_2O_3' ün molar oluşum ısısı + 840 kJ'dür.

41. $CO_2(g) \rightarrow C(k) + O_2(g)$ ΔH = 393 kJ



$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g)$ ΔH = -484 kJ

$CH_3OH(s) + 3/2\,O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$ ΔH = -702 kJ

Yukarıda verilen tepkime ve entalpi değişimlerine göre sıvı CH_3OH (metil alkol) bileşiğinin oluşma entalpisi kaç kJ'dür?

A) 175 B) -175 C) 87 D) -87 E) -551

42. Aşağıda verilen tepkimeler, standart şartlarda gerçekleştiriliyor.

Hangi tepkimenin entalpisi, standart molar oluşum entalpisidir?

A) $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$
B) $C(elmas)(k) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$
C) $SO_2(g) \rightarrow S(k) + O_2(g)$
D) $CO(g) + 1/2\,O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$
E) $H_2(g) + 1/2\,O_2(g) \rightarrow H_2O(s)$

43. Aşağıdaki tabloda bazı atomların bağ enerjileri verilmiştir.

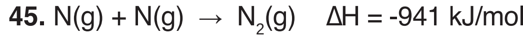
Bağ	Bağ Enerjisi (kJ/mol)
C – H	414
O = O	499
C = O	745
H – O	460

Buna göre $CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$ **tepkimesinde 8 gram CH_4 gazının yanmasından kaç kJ ısı açığa çıkar?** (H:1, C:12)

A) -202 B) 169 C) 202 D) 338 E) 676

44. $H_2(g) + O_2(g) \rightarrow H_2O_2(g)$ **tepkimesinin entalpi değerini bulmak için aşağıdaki seçeneklerde verilen hangi bağ enerjisinin bilinmesine gerek yoktur?**

A) H – H B) O – O C) O = O D) O = H E) H – O

45. 
$N(g) + N(g) \rightarrow N_2(g) \quad \Delta H = -941$ kJ/mol

Yukarıdaki verilen kimyasal tepkimeye ilişkin

I. Bağ oluşum tepkimesidir.

II. 2 mol N_2 molekülü atomlarına ayrışırken 1882 kJ ısı açığa çıkar.

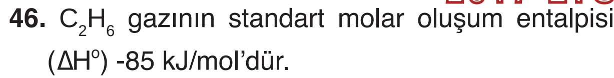
III. N_2 molekülleri N atomlarından daha kararlıdır.

IV. $N_2(g) \rightarrow N(g) + N(g)$ tepkimesi için $\Delta H = +941$ kJ/mol olur.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) I, II, III ve IV B) I, II ve III C) I, III ve IV

D) I, II ve IV E) I ve IV



2017 LYS

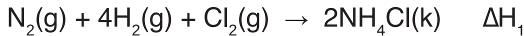
46. C_2H_6 gazının standart molar oluşum entalpisi (ΔH^o) -85 kJ/mol'dür.

Buna göre aynı koşullarda 0,3 g C_2H_6 oluşurken açığa çıkan ısı kaç kJ'dür? (C_2H_6: 30 g/mol)

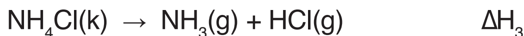
A) 85 B) 25,5 C) 2,55

D) 0,85 E) 0,30

47. Aşağıda bazı tepkime denklemleri ve entalpi değişimleri verilmiştir.


$N_2(g) + 4H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2NH_4Cl(k) \quad \Delta H_1$

$H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2HCl(g) \quad \Delta H_2$


$NH_4Cl(k) \rightarrow NH_3(g) + HCl(g) \quad \Delta H_3$

Buna göre NH_3 gazının kendi elementlerinden oluşması sırasında açığa çıkan entalpi değişimi aşağıdaki eşitliklerden hangisi ile hesaplanır?

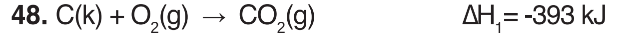
A) $\Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_3$

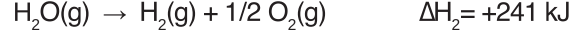
B) $\dfrac{\Delta H_1 + \Delta H_3 - \Delta H_2}{2}$

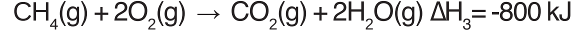
C) $\dfrac{\Delta H_1 + 2\Delta H_3 - \Delta H_2}{2}$

D) $\Delta H_1 + \Delta H_3 - \Delta H_2$

E) $2\Delta H_1 + \Delta H_3 - \Delta H_2$

48. 
$C(k) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \quad \Delta H_1 = -393$ kJ


$H_2O(g) \rightarrow H_2(g) + 1/2\, O_2(g) \quad \Delta H_2 = +241$ kJ


$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g) \quad \Delta H_3 = -800$ kJ

Yukarıda verilen tepkimeler ve entalpileri ile ilgili

I. H_2O'nun molar oluşum entalpisi -241 kJ/mol'dür.

II. ΔH_1 CO_2 gazının molar oluşum entalpisidir.

III. CH_4 gazının molar oluşum entalpisi -75 kJ/mol'dür.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) I ve II B) I ve III C) II ve III

D) I, II ve III E) Yalnız I

49.
$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g) \quad \Delta H_1 = -92$ kJ

$NO(g) \rightarrow 1/2\, N_2(g) + 1/2\, O_2(g) \quad \Delta H_2 = -90$ kJ

$H_2(g) + 1/2\, O_2(g) \rightarrow H_2O(g) \quad \Delta H_3 = -241$ kJ

olduğuna göre

$4NH_3(g) + 5O_2(g) \rightarrow 4NO(g) + 6H_2O(g)$

tepkimesinin ΔH'ı kaç kJ'dür?

A) -451 B) -902 C) -1270

D) -1560 E) -1804

2013 LYS

50. Aşağıdaki tabloda, bazı atomlar arasındaki bağ enerjileri verilmiştir.

Bağ	C − H	C = O	O = O	O − H
Bağ Enerjisi (kJ/mol)	414	736	498	464

Buna göre

$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$

tepkimesinin entalpi değişimi kaç kJ'dür?

A) +576 B) +288 C) -252

D) -288 E) -676

5 ÜNİTE

KİMYASAL TEPKİMELERDE HIZ

ÜNİTE BÖLÜMLERİ

5.1. TEPKİME HIZLARI

5.2. TEPKİME HIZINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

ANAHTAR KAVRAMLAR

- Aktivasyon enerjisi
- Hız sabiti
- İnhibitör
- Katalizör
- Ortalama tepkime hızı

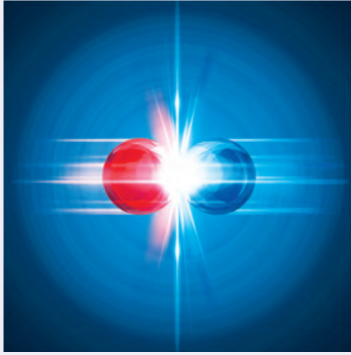
İÇERİK

- Kimyasal tepkimeler ile tanecik çarpışmaları arasındaki ilişki
- Kimyasal tepkimelerin hızları
- Tepkime hızına etki eden faktörler

1. BÖLÜM TEPKİME HIZLARI

- *Günlük yaşamda gerçekleşen kimyasal tepkimelerin hangisi hızlı, hangisi yavaştır?*
- *Kimyasal tepkimeler nasıl gerçekleşir?*
- *Bir tepkimede reaksiyona giren maddelerin ürün oluşturabilmesi için hangi koşullar sağlanmalıdır?*

5.1.1. Kimyasal Tepkimeler ile Tanecik Çarpışmaları Arasındaki İlişki



***Görsel 5.1:** Kimyasal tepkimelerde taneciklerin çarpışması*

Maddeler; atom, molekül ya da iyon adı verilen taneciklerden oluşur. Maddeyi oluşturan tanecikler birbirinden uzakta olduğunda tanecikler arasında bir etkileşim gerçekleşmez. Maddelerin birbiri ile tepkime verebilmeleri için bir araya gelerek etkileşmeleri gerekir. Kimyasal tepkimeler gerçekleşirken atomlar ya da moleküller arası bağlar kırılarak yeni bağlar oluşur. Tepkimeye giren maddelerdeki atomların yeni moleküller oluşturacak şekilde düzenlenebilmesi için taneciklerin birbirleriyle çarpışması gerekir (Görsel 5.1).

Kinetik molekül kuramına göre gaz molekülleri bulunduğu kapta sürekli birbirleriyle çarpışır. Bu çarpışmalar esnek çarpışmadır. Tanecikler arasında gerçekleşen esnek çarpışmalarda enerji alışverişi olsa da toplam kinetik enerjide bir değişme olmaz.

Kimyasal bir tepkimenin çarpışmalar sonucu gerçekleştiğini ileri süren teoriye **çarpışma teorisi** denir. Moleküllerin birim zamanda çarpışma sayısı yani çarpışma frekansı, çarpışma teorisi yardımıyla hesaplanabilir. Örneğin tipik bir gaz tepkimesinde çarpışma frekansı bir saniyede 10^{32} düzeyindedir. Böyle kısa bir sürede gerçekleşen çok sayıdaki çarpışmanın hepsi ürünle sonuçlansaydı tepkime hızı çok yüksek olurdu ve gaz fazında gerçekleşen tepkimeler, bir saniyeden daha kısa sürede tamamlanırdı. Ancak gaz fazındaki tepkimeler genelde yavaştır. Bu tepkimelerde gaz molekülleri arasındaki çarpışmaların ancak küçük bir oranı kimyasal tepkimeyle sonuçlanır.

Çarpışma teorisine göre tepkimeye giren maddelerin ürün oluşturabilmesi veya bir tepkimenin reaksiyonla sonuçlanabilmesi için

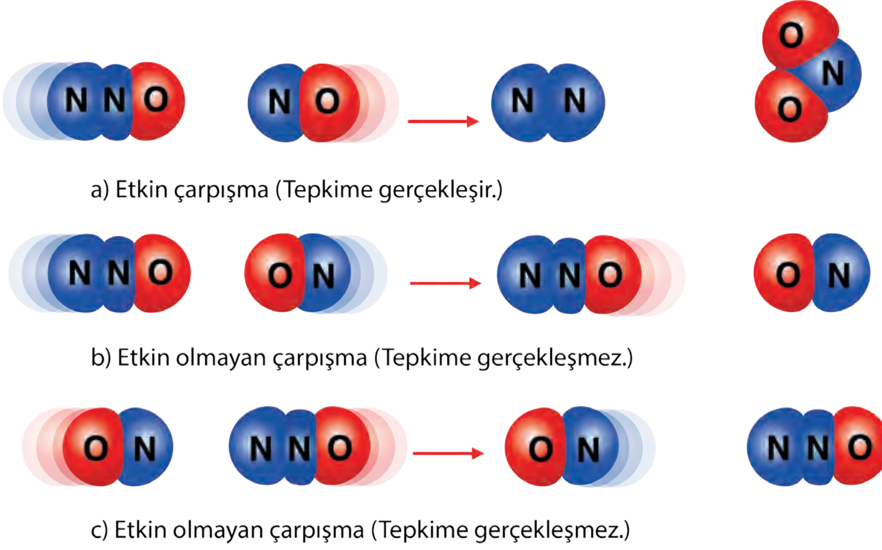
- Tepkimeye giren taneciklerin birbirleri ile uygun geometrik doğrultuda ve yönde çarpışmaları gerekir.
- Tepkimeye giren taneciklerin yeterli kinetik enerjiye sahip olması gerekir.

Yukarıda belirtilen özellikleri gerçekleştiren çarpışmalara **etkin çarpışma** denir. Bu özelliklerin birini taşımayan çarpışmalar reaksiyonla sonuçlanmaz. Reaksiyonla sonuçlanmayan çarpışmalara **etkin olmayan çarpışma** denir. Örneğin

$N_2O(g) + NO(g) \rightarrow N_2(g) + NO_2(g)$ tepkimesinin bağları

$N \equiv N - O + N = O \rightarrow N \equiv N + O - N = O$ şeklindedir.

Tepkimede etkin bir çarpışma gerçekleştiğinde N_2O'teki N – O bağı kopar ve NO molekülüne yeni bir O – N bağı eklenir. Çarpışma sonucunda da N_2 ve NO_2 molekülleri oluşur (Görsel 5.2).



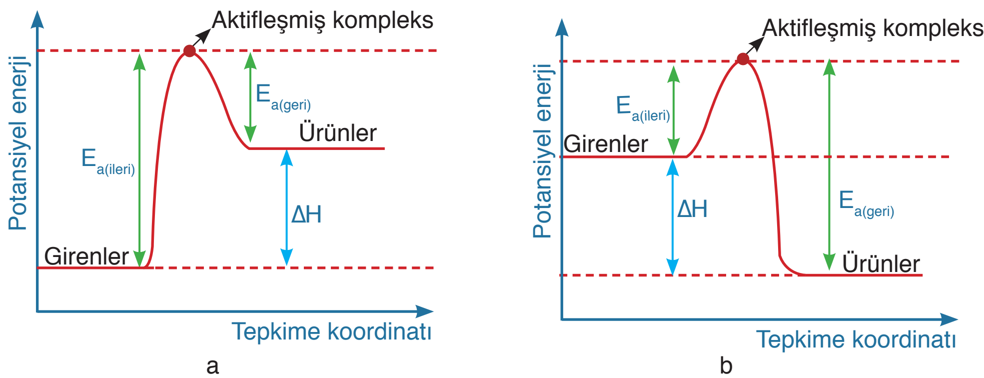
Görsel 5.2: *N_2O ve NO arasında gerçekleşen etkin olan ve etkin olmayan çarpışmalar*

Kimyasal bir tepkimenin gerçekleşebilmesi için reaksiyona giren taneciklerin sahip olması gereken en düşük kinetik enerjiye **eşik enerjisi** veya **aktivasyon enerjisi (aktifleşme enerjisi)** denir. Aktivasyon enerjisi E_a ile gösterilir. Bir tepkimede ileri yöndeki aktivasyon enerjisine ileri aktivasyon enerjisi (E_{ai}), geri yöndeki aktivasyon enerjisine geri aktivasyon enerjisi (E_{ag}) denir.

Henry Eyring (Henri Eyri) ve bazı araştırmacılar tarafından, kimyasal tepkimede girenlerden ürün oluşurken geçiş hâlinde bulunan bir ara ürün meydana geldiği belirlenmiştir. Bu ara ürüne **aktifleşmiş kompleks** ve durumuna da **geçiş hâli** denir. Ara ürün olarak oluşan aktifleşmiş kompleks, yüksek enerjili olduğu için kararsızdır. Çarpışmalar sonucunda oluşan bu aktifleşmiş kompleks ya geriye doğru tekrar girenlere dönüşür ya da ileriye doğru ürünleri oluşturur. Grafik 5.1'de endotermik ve ekzotermik tepkimelerde enerji değişimleri gösterilmiştir.

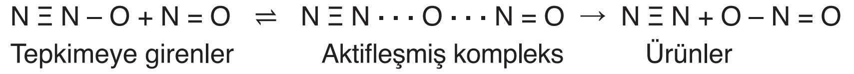
Bilgi Kutusu

Aktivasyon enerjisi (E_a) düşük enerjili moleküllerin reaksiyon vermesine engel oluşturacak bir bariyer gibidir.



Grafik 5.1: *a) Endotermik ve b) Ekzotermik tepkimelerin potansiyel enerji-tepkime koordinatı*

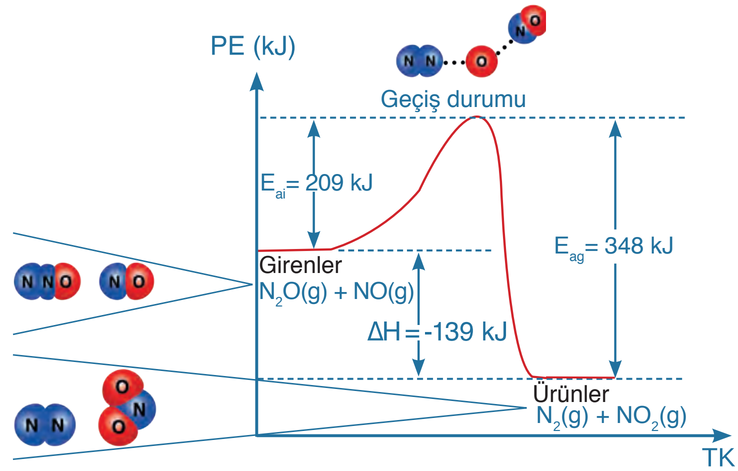
N_2O ve NO arasında gerçekleşen tepkimede aktifleşmiş kompleks ve ürün oluşumu aşağıda gösterilmiştir.



N ≡ N – O + N = O ⇌ N ≡ N · · · O · · · N = O → N ≡ N + O – N = O

Tepkimeye girenler — Aktifleşmiş kompleks — Ürünler

Tepkimeye göre N_2O molekülünün O atomu ile NO molekülünün N atomu arasında bağ yoktur. Aktifleşmiş komplekste ise O atomu N_2O molekülünden kısmen kopmuş ve NO molekülüne kısmen bağlanmıştır. Bu durum (···) kısmi bağları ile gösterilmiştir. Tepkimede aktifleşmiş kompleks moleküllerinden bazıları geriye doğru N_2O ve NO moleküllerini oluştururken bazıları da N_2O moleküllerindeki kısmi O bağını tamamen koparak N_2 ve NO_2 moleküllerini oluşturur. Grafik 5.2'de N_2O ve NO arasında gerçekleşen tepkimede potansiyel enerji-tepkime koordinatı grafiği verilmiştir.



Grafik 5.2: *$N_2O(g)$ + NO(g) → $N_2(g)$ + $NO_2(g)$ tepkimesinin enerji grafiği*

Endotermik ve ekzotermik tepkimelerde

- Tepkimede ileri yöndeki aktifleşme enerjisi, aktifleşmiş kompleksin potansiyel enerjisi ile girenlerin potansiyel enerjisi arasındaki farka eşittir.

  E_{ai} = Aktifleşmiş kompleksin potansiyel enerjisi – girenlerin potansiyel enerjisi

- Tepkimede geri yöndeki aktifleşme enerjisi, aktifleşmiş kompleksin potansiyel enerjisi ile ürünlerin potansiyel enerjisi arasındaki farka eşittir.

  E_{ag} = Aktifleşmiş kompleksin potansiyel enerjisi – ürünlerin potansiyel enerjisi

- İleri yöndeki tepkime ısısı, ürünlerin potansiyel enerjileri toplamıyla girenlerin potansiyel enerjileri toplamı arasındaki farka eşittir.

  ΔH_{ileri} = Ürünlerin potansiyel enerji toplamı – girenlerin potansiyel enerji toplamı

  veya

  $\Delta H_{ileri} = E_{ai} - E_{ag}$ şeklindedir.

- Tepkime, ileri yönde ekzotermik ise geri yönde endotermiktir.
  $\Delta H_{ileri} = - \Delta H_{geri}$
- Tepkimelerin aktifleşme enerjileri, her zaman pozitif bir değerdir.
- Endotermik tepkimelerde $E_{ai} > E_{ag}$ ve $\Delta H > 0$'dır.
- Ekzotermik tepkimelerde $E_{ai} < E_{ag}$ ve $\Delta H < 0$'dır.
- Tepkimelerin aktifleşme enerjisi büyüdükçe hızı yavaşlar.
- Endotermik tepkimelerde, girenlerin potansiyel enerjileri toplamı ürünlerin potansiyel enerjileri toplamından düşüktür. Girenler düşük sıcaklıkta, ürünler ise yüksek sıcaklıkta daha kararlıdır.
- Ekzotermik tepkimelerde, ürünlerin potansiyel enerjileri toplamı girenlerin potansiyel enerjileri toplamından düşüktür. Ürünler düşük sıcaklıkta, girenler ise yüksek sıcaklıkta daha kararlıdır.

Ekzotermik ve endotermik tepkimelerin gerçekleşebilmesi için girenlerin çarpışarak aktivasyon enerjisini aşacak yeterli enerjiye sahip olması gerekir. Girenler, aktivasyon enerjisini aşamadığı zaman tepkime gerçekleşmez. Ekzotermik ve endotermik tepkimelerin başlangıcında girenlerin aktivasyon enerjisi kadar enerjiyi dışarıdan alması gerekir. Ekzotermik tepkimeler başladıktan sonra bu enerjiyi tepkimeden çıkan ısıdan karşılar. Bu nedenle ekzotermik tepkimeler genellikle başladıktan sonra kendiliğinden devam eder. Endotermik tepkimelerin başlaması ve devam edebilmesi için dışarıdan sürekli enerji alması gerekir.

Örnek

$2NOCl(g) \rightarrow 2NO(g) + Cl_2(g)$ tepkimesinin potansiyel enerji-tepkime koordinatı diyagramı yanda verilmiştir. Buna göre tepkime için

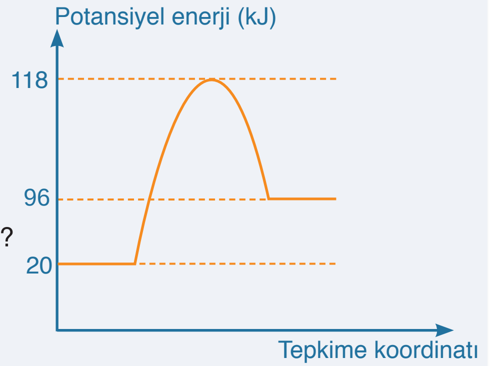
a) İleri ve geri yönde aktivasyon enerjisi kaç kJ'dür?

b) Giren ve ürünlerin potansiyel enerjisi kaç kJ'dür?

c) Tepkime entalpisi kaç kJ'dür?

ç) Düşük sıcaklıkta tepkimedeki hangi maddeler daha kararlıdır?

d) Tepkimenin gerçekleştiği ortamın sıcaklığında nasıl bir değişme olur? Bunun sebebi nedir?



Çözüm

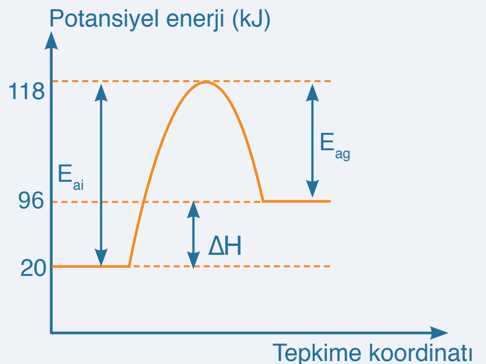
a) $E_{ai} = 118 - 20 = 98$ kJ, $E_{ag} = 118 - 96 = 22$ kJ

b) Girenlerin 20 kJ, ürünlerin 96 kJ

c) $\Delta H = E_{ai} - E_{ag} \Rightarrow \Delta H = 98 - 22 = +76$ kJ/mol

ç) Tepkime ileri yönde endotermiktir. Endotermik tepkimelerde düşük sıcaklıklarda girenler, ürünlerden daha kararlı olduğu için NOCl(g) daha kararlıdır.

d) Endotermik tepkimeler gerçekleşirken ortamdan ısı alındığı için ortamın sıcaklığında azalma olur.



Örnek

$2NO(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO_2(g)$ tepkimesinin ileri aktifleşme enerjisi 120 kJ ve NO, NO_2 gazlarının molar oluşum entalpileri sırasıyla 90 kJ/mol ve 34 kJ/mol'dür. Buna göre tepkimenin geri aktifleşme enerjisi kaç kJ'dür?

Çözüm

$\Delta H^o_{tep} = \sum \Delta H^o_{ürünler} - \sum \Delta H^o_{girenler}$

$\Delta H^o_{tep} = (2\Delta H^o_{NO_2}) - (2\Delta H^o_{NO})$

$\Delta H^o_{tep} = (2.34) - (2.90) = -112$ kJ

Tepkimenin geri yöndeki aktifleşme enerjisi

$\Delta H = E_{ai} - E_{ag}$

$-112 = 120 - E_{ag} \Rightarrow E_{ag} = 232$ kJ olur.

Örnek

$2CO(g) + O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g)$ tepkimesinin ileri aktifleşme enerjisi 110 kJ, geri aktifleşme enerjisi 160 kJ'dür. 22 g CO_2 oluşması sırasındaki entalpi değişimi kaç kJ'dür? (CO_2: 44)

Çözüm

$\Delta H = E_{ai} - E_{ag}$

$\Delta H = 110 - 160 = -50$ kJ

$n = \frac{m}{MA} = \frac{22}{44} = 0,5$ mol CO_2

2 mol CO_2 50 kJ ısı çıkarsa

0,5 mol CO_2 ?

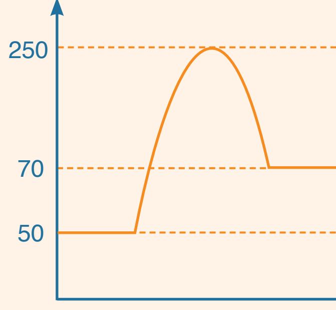
$? = \frac{0,5.50}{2} = 12,5$ kJ ısı çıkar.

$\Delta H = -12,5$ kJ olur.

5.1. Alıştırma

$Na(k) + H_2O(s) \rightarrow NaOH(suda) + 1/2H_2(g)$ tepkimesinin ileri aktifleşme enerjisi 560 kJ ve H_2O ve NaOH'ın molar oluşma entalpileri sırasıyla -272 kJ, +200 kJ'dür. Buna göre geri yöndeki tepkimenin aktifleşme enerjisi kaç kJ'dür?

5.2. Alıştırma



$CH_4(g) + CO(g) \rightarrow C_2H_4O(g)$ tepkimesinin potansiyel enerji tepkime koordinatı grafiği yanda verilmiştir. Buna göre 4 g CH_4 yeterli miktarda CO ile tepkimeye girerse entalpi değişimi kaç kJ olur? (CH_4: 16)

5.1. ETKİNLİK

Etkinliğin Adı: Amonyum Dikromatın Yanması

Etkinliğin Amacı: Aktivasyon enerjisinin açıklanması

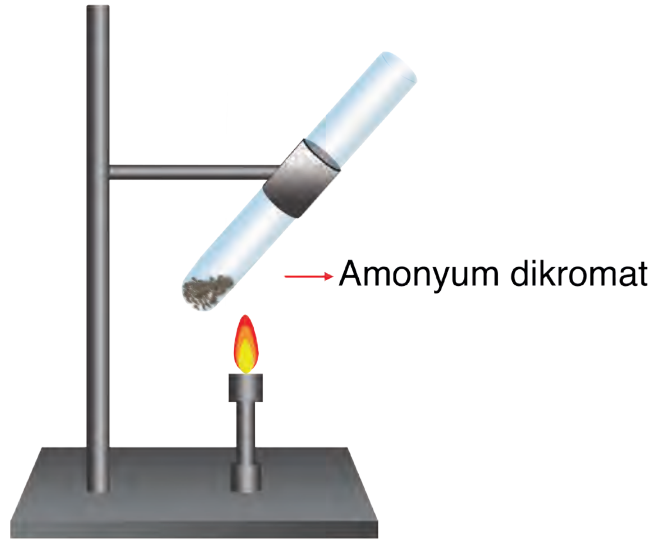
Etkinliğin Süresi: 40 dakika

Araç ve Gereçler

- Amonyum dikromat [$(NH_4)_2Cr_2O_7$]
- Deney tüpü
- Destek çubuğu
- Bağlama parçası
- Maşa
- Bunzen beki
- Terazi

Uygulama Aşamaları

1. 5 g katı amonyum dikromatı deney tüpüne koyunuz.
2. Deney tüpünü destek çubuğu yardımıyla eğimli bir şekilde sabitleyiniz.
3. Bek alevini tüpteki amonyum dikromatın üst bölgesine yaklaştırarak ısıtınız.
4. Tüpün üst kısmında kırmızı amonyum dikromat bileşiği yeşil renge dönmeye başlayınca ısıtma işlemini sonlandırınız.
5. Gözlemlerinizi not alınız.



Etkinliğin Değerlendirilmesi

Amonyum dikromat ısıtıldığında bozulmaya uğrar. Bu tepkime

$(NH_4)_2Cr_2O_7(k) \rightarrow N_2(g) + Cr_2O_3(k) + 4H_2O(g) \quad \Delta H = -315 \text{ kJ}$

şeklinde gerçekleşir. Tepkime ekzotermik olmasına rağmen oda sıcaklığında neden kendiliğinden gerçekleşmediğini yorumlayınız. Amonyum dikromat ısıtıldıktan sonra tepkimenin hızlı bir şekilde gerçekleşmesinin nedenini yorumlayınız.

5.1.2. Kimyasal Tepkimelerin Hızları

Kimyasal tepkimelerin hızı nasıl ölçülür? Kimyasal tepkime hızının madde miktarı ile ilişkisi nasıldır?

Kimyasal tepkime hızı günlük hayatta birçok olayı etkilemektedir. Kimyasal tepkimeler yavaş, orta hızlı ve çok hızlı şekilde gerçekleşebilir. Grizu ve havai fişek patlamaları çok hızlı, mutfak tüpünün yanması hızlı; polimerleşme, hidroliz ve demirin paslanması tepkimeleri yavaş, kömür ve petrolün oluşum gibi jeolojik tepkimeler çok yavaş gerçekleşir.

Görsel 5.3: *Kimyasal maddeyle siyahlatılmış zeytin*

Kimyasal tepkimelerin hızı çeşitli sebeplerle bazen azaltılır bazen de arttırılır. Örneğin besinlerin yapısını bozan tepkimeler, soğutucularla veya koruyucularla yavaşlatılarak besinlerin çabuk bozulması engellenir. Zeytinlerin kısa sürede siyah renge dönüşmesini sağlamak için çeşitli kimyasal maddeler kullanılır (Görsel 5.3). Muz ve turunçgillerin hızlı bir şekilde olgunlaşması için etilen ve asetilen gazı kullanılır. Kasların kasılıp gevşemesi ve sinir sisteminde uyarıların iletilmesi hızlı gerçekleşen tepkimeler ile sağlanır.

Homojen ve Heterojen Tepkimeler

Kimyasal tepkimeler gerçekleşirken tepkimeye girenler ve oluşan ürünler aynı fazda olabildiği gibi farklı fazlarda da olabilirler. Tepkimeler faz durumuna göre homojen ve heterojen olmak üzere ikiye ayrılır:

Bir kimyasal tepkimede giren ve ürünler aynı fiziksel hâlde ise bu tepkimelere **homojen tepkimeler** denir. Bir kimyasal tepkimede giren ve ürünleri oluşturan maddelerden birinin fiziksel hâli farklı ise bu tür tepkimelere **heterojen tepkimeler** denir. Aşağıda homojen ve heterojen tepkimelere örnekler verilmiştir:

Tepkime	Tepkime sınıfı
$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$	Homojen tepkime
$Mg(k) + 2HCl(suda) \rightarrow MgCl_2(suda) + H_2(g)$	Heterojen tepkime
$2Fe^{3+}(suda) + Sn^{2+}(suda) \rightarrow 2Fe^{2+}(suda) + Sn^{4+}(suda)$	Homojen tepkime
$C(k) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$	Heterojen tepkime

Tepkime Hızı ve Madde Miktarı Arasındaki İlişki

Kimyasal tepkimelerde reaksiyona giren maddeler harcanırken reaksiyon sonucunda yeni maddeler oluşur. Tepkimelerde giren ve ürünlerin miktarları zamanla değişir. Birim zamanda madde miktarındaki değişime **tepkime hızı** denir. Tepkime hızı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$\text{Tepkime hızı} = \frac{\text{Madde miktarındaki değişim}}{\text{Zaman aralığı}}$$

Kimyasal tepkimelerde madde miktarı; derişim, mol, kütle ve gaz maddeleri için normal şartlarda hacim olarak alınır. Madde miktarındaki değişim miktarları; molarite, mol, gram, cm^3 veya L olarak ifade edilir. Tepkimelerde zaman birimi seçilirken tepkimenin yavaş ya da hızlı olmasına göre saat, dakika ve saniye gibi zaman birimleri kullanılır. Tepkime hızı; v, r, TH veya RH ile gösterilir.

Madde miktarındaki değişim gram, zaman aralığı saniye olarak alındığında hız

$r = \frac{\Delta m}{\Delta t}$ ile ifade edilir ve birimi g/s'dir.

Madde miktarındaki değişim mol, zaman aralığı saniye olarak alındığında hız

$r = \frac{\Delta n}{\Delta t}$ ile ifade edilir ve birimi mol/s'dir.

Madde miktarındaki değişim gaz maddeler için hacim, zaman aralığı saniye olarak alındığında hız

$r = \frac{\Delta V}{\Delta t}$ ile ifade edilir ve birimi L/s'dir.

Madde miktarındaki değişim molarite, zaman aralığı saniye olarak alındığında hız

$r = \frac{\Delta M}{\Delta t}$ ile ifade edilir ve birimi M/s'dir.

Çözeltilerdeki tepkime hızı incelenirken madde miktarındaki değişim genellikle molarite olarak alınır. Bu nedenle tepkime hızı, birim zamanda maddelerin derişimindeki değişimi olarak ifade edilir.

Örnek

$H_2(g) + F_2(g) \rightarrow 2HF(g)$ tepkimesine göre 1 litrelik kapta 10 saniyede 0,2 g H_2 gazı harcanıyor. H_2 gazının harcanma hızını aşağıdaki birimlere göre bulunuz. (H:1)

a) g/s b) mol/s c) NŞA'da L/s ç) M/s

Çözüm

a) $r_{H_2} = \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{0,2}{10} = 0,02$ g/s

b) $n = \frac{0,2}{2} = 0,1$ mol $r_{H_2} = \frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{0,1}{10} = 0,01$ mol/s

c) 0,1 mol $H_2 \rightarrow 2,24$ L $r_{H_2} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{2,24}{10} = 0,224$ L/s

ç) $M = \frac{n}{V} = \frac{0,1}{1} = 0,1M$ $r_{H_2} = \frac{\Delta M}{\Delta t} = \frac{0,1}{10} = 0,01$ M/s

Ortalama Tepkime Hızı

Bir kimyasal tepkimede; girenler için harcanma, ürünler için oluşma hızı ifadeleri kullanılır. Bir tepkimedeki giren ya da ürünlerin madde miktarlarının belli zaman aralığındaki değişimine **ortalama hız** denir. Bir kimyasal tepkimede, tepkimeye giren maddelerin zamanla derişimleri azalırken ürünlerin derişimi artar. Madde miktarlarındaki değişim son miktardan ilk miktarın çıkarılmasıyla bulunur. Buna bağlı olarak kimyasal tepkimelerde girenlerin madde miktarındaki değişim negatif olarak, ürünlerdeki madde miktarındaki değişim pozitif olarak hesaplanır. Bu sebeple girenlerin harcanma hızının pozitif bir değer olması için girenlerin harcanma hızı eksi ile çarpılır.

Örneğin $H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2HCl(g)$ tepkimesinde

Harcanma hızı $r_{H_2} = -\frac{\Delta[H_2]}{\Delta t}$, $r_{Cl_2} = -\frac{\Delta[Cl_2]}{\Delta t}$

Oluşma hızı $r_{HCl} = +\frac{\Delta[HCl]}{\Delta t}$ olarak ifade edilir.

Tepkimede 1 mol H_2 ile 1 mol Cl_2 harcanırken aynı zamanda 2 mol HCl oluşur. H_2 ve Cl_2'nin harcanma hızları eşit, HCl'ün oluşma hızı H_2 ve Cl_2'nin harcanma hızının iki katıdır. Tepkimede harcanma ve oluşma hızı arasındaki ilişki yazılırken denklem katsayıları hıza bölüm olarak alınır. Buna göre tepkimedeki maddelerin oluşma ve harcanma hızı arasındaki ilişki

$$-\frac{\Delta[H_2]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[Cl_2]}{\Delta t} = +\frac{\Delta[HCl]}{2\Delta t}$$ şeklindedir.

Ortalama tepkime hızı pozitif bir değer olduğundan tepkimenin ortalama hızı

$r_{HCl} = 2r_{H_2} = 2r_{Cl_2}$ şeklinde yazılır.

Kimyasal tepkimede girenlerin derişimi zamanla azaldığı için tepkimenin ortalama tepkime hızı da azalır. Buna bağlı olarak tepkimelerde girenlerin harcanma ve ürünlerin oluşma hızında zamanla azalma gerçekleşir.

Tablo 5.1: *H_2O_2 Derişiminin Zamanla Değişimi*

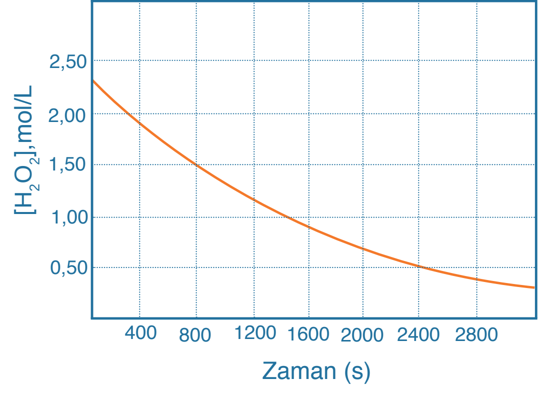
Zaman (s)	$[H_2O_2]$
0	2,32
200	2,01
400	1,72
600	1,49
1200	0,98
1800	0,62
3000	0,25

Örneğin $H_2O_2(suda) \rightarrow H_2O(s) + 1/2O_2(g)$ tepkimesinde H_2O_2 derişiminin zamanla değişimi Tablo 5.1 ve Grafik 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.1 ve Grafik 5.3 incelendiğinde H_2O_2 derişiminin zamanla azaldığı görülür. H_2O_2'in ortalama harcanma hızı belli zaman aralıklarındaki derişim değişiminden hesaplanır. Örneğin 200-400 saniye arası H_2O_2'nin harcanma hızı

$$r_{H_2O_2} = -\frac{\Delta[H_2O_2]}{\Delta t} = -\frac{(1{,}72 - 2{,}01)}{(400 - 200)}$$

$$r_{H_2O_2} = -\frac{-0{,}29}{200} = 1{,}45.10^{-3} \text{ M/s'dir.}$$



***Grafik 5.3:** H_2O_2 derişiminin zamanla değişimi*

400-600 saniye arası H_2O_2'in harcanma hızı

$$r_{H_2O_2} = -\frac{\Delta[H_2O_2]}{\Delta t} = -\frac{(1{,}49 - 1{,}72)}{(600 - 400)} = -\frac{-0{,}23}{200} = 1{,}15.10^{-3} \text{ M/s'dir.}$$

Hesaplamalarda görüldüğü gibi zamanla H_2O_2 derişiminin azalmasına bağlı olarak H_2O_2'in harcanma hızı da azalır.

Örnek

$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$ tepkimesinde N_2 gazının derişimi 100 saniyede 0,4 M'dan 0,2 M'a düşüyor. Buna göre H_2 gazının ortalama harcanma ve NH_3 gazının ortalama oluşma hızı kaç M/s'dir.

Çözüm

$N_2(g)$ ortalama harcanma hızı $r_{N_2} = -\frac{\Delta[N_2]}{\Delta t} = -\frac{(0{,}2 - 0{,}4)}{100} = \frac{0{,}2}{100} = 2.10^{-3}$ M/s'dir.

Tepkimedeki gazların harcanma ve oluşma hızları arasındaki ilişki $r_{N_2} = \frac{1}{3} r_{H_2} = \frac{1}{2} r_{NH_3}$

$H_2(g)$'nın ortalama harcanma hızı $r_{H_2} = 3.r_{N_2} \Rightarrow r_{H_2} = 3.2.10^{-3} = 6.10^{-3}$ M/s'dir.

$NH_3(g)$'nın ortalama oluşma hızı $r_{NH_3} = 2.r_{N_2} \Rightarrow r_{NH_3} = 2.2.10^{-3} = 4.10^{-3}$ M/s'dir.

Bir kimyasal tepkimede giren ve ürünlerin stokiyometrik katsayıları eşit değilse harcanma ve oluşma hızları farklı olur. Fakat tepkimenin ortalama hızı tek bir değerdir. Tepkimelerin ortalama hızı Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği'nin (IUPAC) önerdiği şekilde bulunur. Buna göre

$aA + bB \rightarrow cC + dD$ şeklinde denkleştirilmiş genel bir kimyasal tepkime için

$$\text{ortalama tepkime hızı} = -\frac{1}{a}\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{1}{b}\frac{\Delta[B]}{\Delta t} = \frac{1}{c}\frac{\Delta[C]}{\Delta t} = \frac{1}{d}\frac{\Delta[D]}{\Delta t} \text{ olur.}$$

Örnek

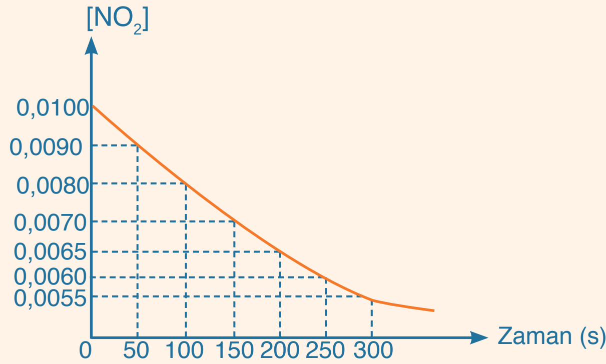
$2CO(g) + O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g)$ tepkimesi 2 litrelik bir kapta gerçekleşirken 200 saniyede $CO_2(g)$'nın mol sayısı 2 molden 4 mole çıkıyor. Buna göre tepkimenin bu zaman aralığında ortalama tepkime hızı kaç M/s'dir?

Çözüm

$CO_2(g)$'nın molar derişimindeki değişim $\Delta M = \frac{n_2 - n_1}{V} = \frac{4 - 2}{2} = 1\ M$

ortalama tepkime hızı $r_{tepkime} = \frac{\Delta[CO_2]}{2\Delta t} = \frac{1}{2.200} = \frac{1}{400} = 2{,}5.10^{-3}$ M/s'dir.

5.3. Alıştırma



Yukarıda $NO_2(g) \rightarrow NO(g) + 1/2O_2(g)$ tepkimesinde NO_2 derişiminin zamanla değişimi verilmiştir. Buna göre

a) NO_2 gazının zamanla harcanma hızı nasıl değişir?

b) 50-150 saniye arasında NO_2 gazının ortalama harcanma hızı kaç M/s'dir?

c) 150-250 saniye arasında NO gazının ortalama oluşma hızı kaç M/s'dir?

5.4. Alıştırma

$C_3H_8(g) + 5O_2(g) \rightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(g)$ tepkimesinde C_3H_8 gazının ortalama harcanma hızı $1{,}2.10^{-2}$ M/s olduğuna göre

a) O_2 gazının ortalama harcanma hızı kaç M/s'dir?

b) CO_2 gazının ortalama oluşma hızı kaç M/s'dir?

c) Tepkimenin ortalama hızı kaç M/s'dir?

5.2. ETKİNLİK

Etkinliğin Adı: **Magnezyum ile Hidroklorik Asit Tepkimesinin Hızının Hesaplanması**

Etkinliğin Amacı: Deneysel olarak tepkime hızının hesaplanması

Etkinliğin Süresi: 40 dakika

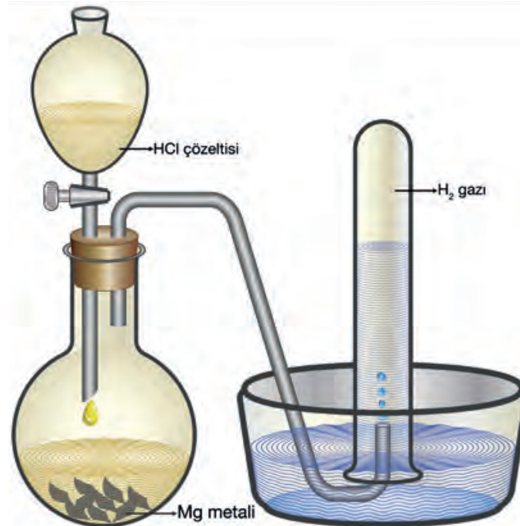
Araç ve Gereçler

- 500 mL Balon Joje, Ayırma hunisi, Deney tüpü
- Su banyosu, Mantar tıpa
- Saf su
- Magnezyum metali
- Derişik HCl
- Pipet, Dereceli silindir
- Terazi
- Kronometre

Uygulama Aşamaları

1. Yoğunluğu 1,19 g/mL kütlece %36,5'lik derişik HCl çözeltisinden 2 M 300 mL HCl çözeltisi hazırlayınız.
2. Hazırladığınız çözeltiyi ayırma hunisine koyunuz.
3. 6 g magnezyum metalini tartınız.
4. Magnezyum metalini 500 mL balon jojeye koyarak görseldeki düzeneği kurunuz. Musluğu açarak HCl çözeltisini magnezyumun bulunduğu balon jojeye akarken kronometreyi çalıştırınız.
5. Tepkimede oluşan gaz çıkışını gözlemleyiniz.
6. HCl çözeltisi ile tepkimeye giren magnezyum metali tamamen bittiğinde kronometreyi durdurunuz.
7. Kronometrede okuduğunuz zamanı not ediniz.
8. Mg ile HCl'ün tepkimesi

   $Mg(k) + 2HCl(suda) \rightarrow MgCl_2(suda) + H_2(g)$ şeklinde gerçekleşir. Tepkimede harcanan magnezyum metalinin mol sayısını hesaplayıp harcanan HCl'ün mol sayısını ve molar derişimini bulunuz.
9. HCl'ün harcanan miktarları ile geçen zamanı kullanarak tepkimenin hızını M/s olarak hesaplayınız. (Mg:24)



Etkinliğin Değerlendirilmesi

Kimyasal tepkimelerde değişen madde miktarı ile zaman kullanılarak tepkime hızı nasıl ölçülebilir?

2. BÖLÜM

TEPKİME HIZINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

- *Kimyasal tepkimelerin hızı nasıl değişebilir?*
- *Kimyasal tepkimelerin hız ifadeleri her zaman tepkimeye giren maddelerin katsayılarına göre mi yazılır?*
- *Reaktif sayısının fazla olduğu tepkimelerde hız ifadesi nasıl yazılır?*

5.2.1. Tepkime Hızına Etki Eden Faktörler

Kimyasal tepkimeler tek basamakta veya birden fazla basamakta gerçekleşebilir. Tek basamaklı tepkimelerde hız ifadesi reaktiflere ve reaktif katsayılarına göre yazılır. Çok basamaklı tepkimelerde hız ifadesi net tepkime denklemindeki reaktiflere ve reaktif katsayılarına göre yazılamaz.

Tek Basamaklı Tepkimelerde Derişime Bağlı Hız İfadesi

Az sayıda taneciğin tepkimeye girdiği ve tek basamakta oluşan basit tepkimelere **tek basamaklı tepkimeler** denir. Tepkime hızı tepkimeye giren maddelerin derişimine bağlıdır. Tepkimedeki maddelerin başlangıç derişimlerinden ölçülen hıza tepkimenin **başlangıç hızı** denir. Tepkime ilerledikçe girenlerin derişimi azaldığından derişimlerdeki değişimlerin hassas olarak ölçülmesi zorlaşır. Bu nedenle tepkimenin başlangıç hızını ölçmek daha iyi sonuçlar verir.

Kimyasal tepkimelerin hızı ile tepkimeye giren maddelerin derişimleri arasındaki ilişkiyi gösteren bağıntıya **hız denklemi** ya da **tepkimenin hız ifadesi** denir. Tepkimelerin hız ifadeleri deneysel olarak elde edilen verilerden yararlanarak hesaplanır. Maddelerin başlangıç derişimlerinden ve başlangıç hızlarından yararlanılarak tepkime hız ifadeleri bulunur.

$2NO(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO_2(g)$ tepkimesine ait 30 °C'de elde edilen başlangıç anında farklı derişimlerdeki tepkimenin başlangıç hızı Tablo 5.2'de verilmiştir.

***Tablo 5.2:** $2NO(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO_2(g)$ Tepkimesinin Başlangıç Derişimleri ile Başlangıç Hızı*

Deney No	Başlangış Derişimleri (M)		Tepkimenin Başlangıç Hızı (M/s)
	[NO]	$[O_2]$	$[NO_2]$'nin Oluşum Hızı
1	0,2	0,2	8.10^{-6}
2	0,4	0,2	32.10^{-6}
3	0,4	0,4	64.10^{-6}
4	0,4	0,8	128.10^{-6}

Tablodaki veriler incelendiğinde 1 ve 2. deneyde O_2 derişimi sabit iken NO derişimi iki katına çıkarıldığında tepkime hızının dört katına çıktığı görülür. Buna göre tepkime hızı NO derişiminin karesi ile doğru orantılıdır.

2 ve 3. deneyde NO derişimi sabit iken O_2 derişimi iki katına çıkarıldığında tepkime hızının iki katına çıktığı görülür. Tepkime hızı O_2 derişimi ile doğru orantılıdır. Buna göre tepkime hızı

$r \propto [NO]^2[O_2]$ şeklindedir.

Bu bağıntı eşitlik şeklinde yazılırken orantı sabiti (k = hız sabiti) ile çarpılırsa tepkimenin hız ifadesi

$r = k\,[NO]^2[O_2]$ şeklinde olur.

Tek basamakta gerçekleşen tepkimelerde tepkimenin hız ifadesi denklem katsayılarıyla uyumlu olduğu için tepkime hızı tepkimeye giren maddelerin katsayılarına göre yazılır. Bu tür tepkimelerde denklem katsayıları hız ifadesinde derişimlere üs olarak yazılır.

Katı ve sıvıların miktarları değiştiğinde derişimleri değişmez. Bu nedenle katı ve sıvılar tepkime hız ifadesinde yazılmaz.

Örneğin tek basamakta gerçekleşen

$aA(g) + bB(g) \rightarrow cC(g) + dD(g)$ tepkimesinin hız ifadesi

$r = k[A]^a[B]^b$ şeklindedir.

Tepkimenin hız ifadesindeki madde derişimlerinin üsleri toplamına **tepkime derecesi (mertebesi)** denir. Yukarıda verilen genel bir tepkimenin tepkime derecesi a ve b katsayıları toplanarak bulunur.

Hız sabitinin (k) birimi her tepkime için tepkime hız ifadesinden bulunur. Tepkime dereceleri eşit olan tepkimelerde hız sabitinin birimi aynıdır.

Tablo 5.3'te tek basamakta gerçekleşen bazı tepkimelerin denklemleri, derişimlere bağlı hız ifadeleri, tepkime dereceleri ve hız sabiti birimleri verilmiştir.

Bilgi Kutusu

Her tepkimenin kendine ait bir hız sabiti (k) değeri vardır ve bu sabit değer deneysel olarak hesaplanır.

Bilgi Kutusu

Tepkime derecesi n olan tepkimelerde hız sabiti birimi (k), $(L/mol)^{n-1}s^{-1}$ olur.

Tablo 5.3: *Tek Basamakta Gerçekleşen Tepkime Denklemleri, Hız İfadeleri, Tepkime Dereceleri ve Hız Sabiti Birimleri*

Tepkime Denklemi	Hız ifadesi	Tepkime Derecesi	Hız Sabiti (k) Birimi
$CaCO_3(k) \rightarrow CaO(k) + CO_2(g)$	r = k	0	M/s ya da mol/L.s
$C(k) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$	$r = k[O_2]$	1	1/s
$H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2HCl(g)$	$r = k[H_2][Cl_2]$	2	1/M.s ya da L/mol.s
$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$	$r = k[N_2][H_2]^3$	4	$1/M^3.s$ ya da $L^3/mol^3.s$
$Zn(k) + 2HCl(suda) \rightarrow ZnCl_2(suda) + H_2(g)$	$r = k[HCl]^2$	2	1/M.s ya da L/mol.s

Tepkime hız ifadeleri çift yönlü (tersinir) tepkimelerde ileri tepkime hızı ve geri tepkime hızı şeklinde yazılabilir.

$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ tersinir tepkimesinde ileri yönlü tepkime hız ifadesi

$r_i = k_i[N_2][H_2]^3$ şeklinde yazılır.

Aynı tepkimenin geri yöndeki hız ifadesi

$r_g = k_g[NH_3]^2$ şeklinde yazılır.

Çok Basamaklı Tepkimelerde Hız

Çarpışma teorisine göre ikiden fazla taneciğin aynı anda uygun geometride çarpışma olasılığı oldukça düşüktür. Bir tepkime denklemi ikiden çok taneciğin çarpışmasını gerektiriyor ise bu tepkimeler basit ikili ya da en fazla üçlü ara basamaklardan oluşur. Bu ara basamaklardan oluşan tepkimelere **çok basamaklı** veya **mekanizmalı tepkimeler** denir.

Çok basamaklı (mekanizmalı) tepkimelerde

- Hız denklemi kimyasal denklemin katsayısına uymaz.
- Tepkime mekanizmaları, denklem üzerinde bazı yorumlar yapılsa da sadece deneysel olarak belirlenir.
- Mekanizmanın en yavaş basamağı tepkime hızını belirler. Bu basamak hızlanmadıkça tepkime hızı artmaz.
- Tepkimenin hız denklemi mekanizmanın en yavaş basamağındaki tepkimeye girenlerin derişimlerine göre yazılır.

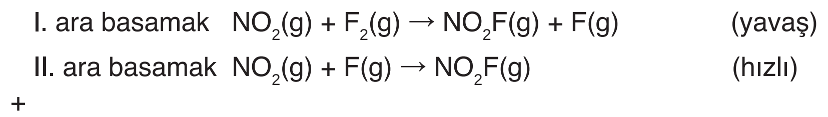
$2NO_2(g) + F_2(g) \rightarrow 2NO_2F(g)$ tepkimesi mekanizmalı olmayıp tek basamakta gerçekleşseydi tepkimenin hız ifadesi

$r = k[NO_2]^2[F_2]$ şeklinde olurdu.

Yapılan deneylerde $[F_2]$ sabit tutulup $[NO_2]$ iki katına çıkarıldığında tepkime hızının iki katına çıktığı; $[NO_2]$ sabit tutulup $[F_2]$ iki katına çıkarıldığında tepkime hızının iki katına çıktığı görülmüştür. Buna göre tepkime hız ifadesi

$r = k[NO_2][F_2]$ şeklindedir.

Bu hız ifadesi net tepkimede girenlerin katsayılarına uymadığı için tepkime mekanizmalıdır. Bu tepkimenin mekanizması



I. ara basamak $NO_2(g) + F_2(g) \rightarrow NO_2F(g) + F(g)$ (yavaş)

II. ara basamak $NO_2(g) + F(g) \rightarrow NO_2F(g)$ (hızlı)

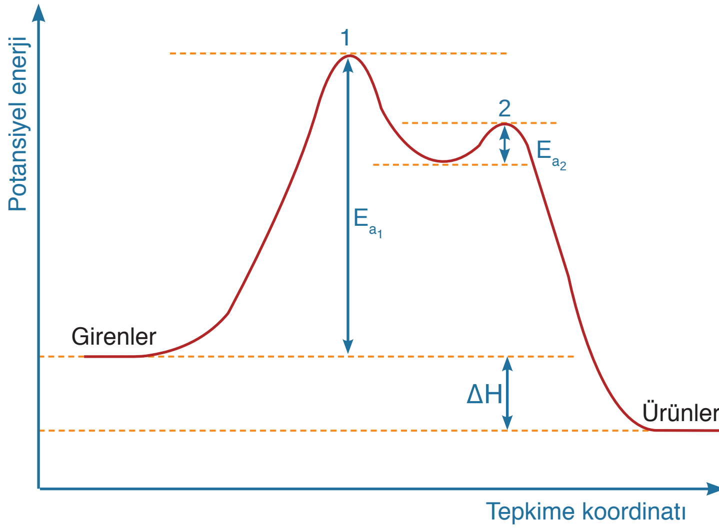
+

Net tepkime denklemi: $2NO_2(g) + F_2(g) \rightarrow 2NO_2F(g)$ şeklindedir.

Bu tepkimede F ara üründür. Ara ürün bir kimyasal tepkimenin bir önceki basamağında oluşup bir sonraki basamakta harcanır. Ara ürün net tepkime denkleminde yer almaz. Bu tepkimede tepkime hız ifadesi yavaş ara basamağa göre yazılır.

Tepkimenin yavaş basamağı $NO_2(g) + F_2(g) \rightarrow NO_2F(g) + F(g)$ olduğuna göre tepkime NO_2'e göre birinci dereceden, F_2'a göre birinci dereceden, tepkime derecesi 1+1= 2 olup tepkime 2. derecedendir.

Çok basamaklı tepkimelerde potansiyel enerji-tepkime koordinatı grafiğinde basamak sayısı kadar aktifleşme enerjisi bulunur. Çok basamaklı tepkimelerde yavaş basamağın aktifleşme enerjisi, hızlı basamakların aktifleşme enerjisinden daha yüksektir. İki basamaklı bir tepkimenin potansiyel enerji tepkime koordinatı Grafik 5.4'te gösterilmiştir.



Grafik 5.4: *İki basamaklı tepkimenin potansiyel enerji-tepkime koordinatı*

Grafik 5.4 incelendiğinde iki aktifleşme enerjisi olduğundan tepkime iki basamaktan oluşmaktadır. Bu basamaklardan aktifleşme enerjisi büyük olan birinci basamak daha yavaş gerçekleşmektedir. Dolayısıyla tepkimenin hızını birinci basamak belirler. Bu tepkimede birinci basamak endotermik, ikinci basamak ve net tepkime ise ekzotermik olarak gerçekleşir.

Net tepkime denkleminde reaktiflerin katsayıları toplamına tepkimenin **moleküleritesi** denir. Tepkimeye bir molekül giriyorsa **unimoleküler** tepkime veya **monomoleküler** tepkime, iki molekül giriyorsa **dimoleküler** veya **bimoleküler** tepkime, üç molekül giriyorsa **trimoleküler** tepkime denir.

Tek basamaklı tepkimelerde tepkimenin derecesi moleküleritesine eşitken çok basamaklı tepkimelerde tepkime moleküleritesi ile tepkime derecesi farklıdır.

Örnek

Tepkime	Tepkime Hız İfadesi	Tepkime Moleküleritesi	Tepkime Derecesi
$H_2(g) + I_2(g) \rightarrow 2HI(g)$	$r=k[H_2][I_2]$		
$2N_2O(g) \rightarrow 2N_2(g) + O_2(g)$	$r=k[N_2O]$		
$O_3(g) \rightarrow O_2(g) + O(g)$	$r=k[O_3]$		

Yan tarafta verilen tepkimelerin tepkime derecesini ve tepkime moleküleritesini belirleyiniz.

Çözüm

Tepkime	Tepkime Hız İfadesi	Tepkime Moleküleritesi	Tepkime Derecesi
$H_2(g) + I_2(g) \rightarrow 2HI(g)$	$r=k[H_2][I_2]$	2	2
$2N_2O(g) \rightarrow 2N_2(g) + O_2(g)$	$r=k[N_2O]$	2	1
$O_3(g) \rightarrow O_2(g) + O(g)$	$r=k[O_3]$	1	1

Örnek

Bir tepkimenin mekanizması aşağıdaki gibidir:

I. $2NO(g) \rightarrow N_2O_2(g)$ (hızlı)

II. $H_2(g) + N_2O_2(g) \rightarrow H_2O(g) + N_2O(g)$ (yavaş)

III. $N_2O(g) + H_2(g) \rightarrow N_2(g) + H_2O(g)$ (hızlı)

Buna göre

a) Net tepkime denklemini

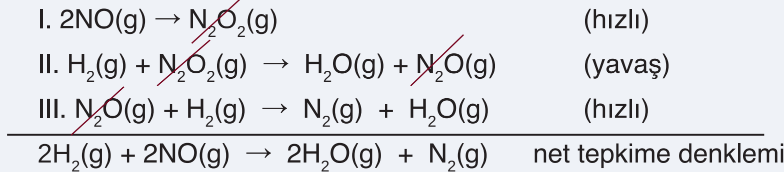
b) Ara ürünleri

c) Tepkimenin hız ifadesini

ç) Tepkimenin derecesini yazınız.

Çözüm

a) Tepkimenin ara basamakları toplanarak net tepkime denklemi bulunur.



I. $2NO(g) \rightarrow N_2O_2(g)$ (hızlı)

II. $H_2(g) + N_2O_2(g) \rightarrow H_2O(g) + N_2O(g)$ (yavaş)

III. $N_2O(g) + H_2(g) \rightarrow N_2(g) + H_2O(g)$ (hızlı)

$2H_2(g) + 2NO(g) \rightarrow 2H_2O(g) + N_2(g)$ net tepkime denklemi

b) Ara ürünler N_2O_2 ve N_2O'tir.

c) Tepkime hız ifadesi yavaş basamağa göre yazılır. Buna göre $r=k[H_2][N_2O_2]$ şeklindedir.

ç) Tepkime derecesi 1+1=2'dir.

5.5. Alıştırma

Bir tepkimenin mekanizması aşağıdaki gibidir:

I. $Cl_2(g) \rightarrow 2Cl(g)$ (hızlı)

II. $N_2O(g) + Cl(g) \rightarrow N_2(g) + ClO(g)$ (yavaş)

III. $2ClO(g) \rightarrow Cl_2(g) + O_2(g)$ (hızlı)

Buna göre

a) Net tepkime denklemini

b) Ara ürünleri

c) Tepkime moleküleritesini

ç) Tepkime derecesini

d) Tepkime hız ifadesini yazınız.

5.6. Alıştırma

$2XY_2(g) + Z_2(g) \rightarrow 2XY_2Z(g)$ tepkimesi iki basamakta gerçekleşmektedir. Bu tepkimenin hızlı basamağı $XY_2(g) + Z(g) \rightarrow XY_2Z(g)$ şeklindedir. Buna göre tepkimenin hız ifadesi nedir?

Tepkime Hızına Etki Eden Faktörler

Tepkime hızına; madde cinsi, derişim, sıcaklık, katalizör ve temas yüzeyi etki eder.

Madde Cinsinin Tepkime Hızına Etkisi

Tepkime hızına tepkimeye giren maddelerin türü etki eder. Tepkimeye giren maddeler atom, molekül, iyon ve radikal hâlinde olabilir. Kimyasal tepkimeler oluşurken bağlar koparak yeni bağlar oluşur. Bir tepkimede kopan ve oluşan bağ sayısı arttıkça tepkime yavaşlar.

Oda sıcaklığında iyonlar arasındaki tepkimeler genellikle hızlı gerçekleşir. Zıt yüklü ve iyon yükü büyük olan tepkimeler çok hızlı gerçekleşir. Nötralleşme ve çökelme tepkimeleri hızlı gerçekleşen tepkimelerdir. Tanecikleri arasında kovalent bağ olan tepkimelerin gerçekleşmesi genellikle yavaştır.

Örneğin

I. $Cr^{2+}(suda) + Fe^{3+}(suda) \rightarrow Fe^{2+}(suda) + Cr^{3+}(suda)$

II. $Ag^{+}(suda) + Cl^{-}(suda) \rightarrow AgCl(k)$

III. $Ba^{2+}(suda) + SO_4^{2-}(suda) \rightarrow BaSO_4(k)$

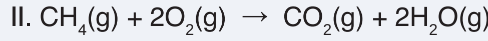
IV. $2NO(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO_2(g)$

Tepkimelerinin hızları karşılaştırıldığında III. tepkime, zıt yüklü ve iyon yükü büyük olan iyonlar arasında gerçekleştiği için en hızlıdır. II. tepkime zıt yüklü iyonlar arasında oluştuğu için I ve IV. tepkimeden daha hızlıdır. IV. tepkimede kovalent bağların kopması ve oluşmasıyla gerçekleştiği için en yavaştır. I. tepkime; aynı yüklü iyonlar arasında elektron alışverişi ile gerçekleştiği için zıt yüklü iyonlar arası tepkimelere göre daha yavaş, kovalent bağlı tepkimelere göre daha hızlı gerçekleşir. Buna göre verilen tepkimelerin hızları

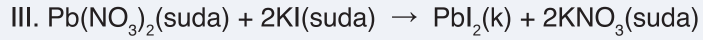
III > II > I > IV şeklindedir.

Örnek

I. $C_3H_8(g) + 5O_2(g) \rightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(g)$



II. $CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$



III. $Pb(NO_3)_2(suda) + 2KI(suda) \rightarrow PbI_2(k) + 2KNO_3(suda)$

Yukarıda verilen tepkimelerin standart koşullarda gerçekleşme hızlarını karşılaştırınız.

Çözüm

I ve II. tepkime kovalent bağların kopması ve oluşmasıyla oluşan yanma tepkimesi, III. tepkime zıt yüklü iyonlar arasında gerçekleşen çökelme tepkimesidir. Bu nedenle III. tepkime en hızlı gerçekleşir. I. tepkimede kopan ve oluşan bağ sayısı fazla olduğundan hızı II. tepkimeden daha yavaştır. Buna göre tepkime hızları

III > II > I şeklinde sıralanır.

Tepkimeye giren madde türlerine bakarak tepkimelerin hızı hakkında yorum yapılabilse de bir tepkimenin hızlı ya da yavaş gerçekleşeceğini kesin olarak deneysel sonuçlar belirler. Örneğin aşağıdaki tepkimede bağ kırılması ve bağ oluşumu olduğu için yavaş gerçekleşmesi düşünülür.

$$3Fe^{2+}(suda) + NO_3^-(suda) + 4H^+(suda) \rightarrow 3Fe^{3+}(suda) + NO(g) + 2H_2O(g)$$

Tepkime gerçekleşirken girenler kısmında NO_3^- iyonundaki N ve O arası bağlar kırılır; ürünler kısmında ise N ve O arasında bağ oluşmasıyla NO molekülü, H ve O arasında bağ oluşmasıyla H_2O molekülü meydana gelir. Bu nedenle tepkimenin yavaş olması beklenir. Yapılan deneylerde ise bu tepkimenin hızlı gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Derişimin Tepkime Hızına Etkisi

Derişimin tepkime hızına etkisi çarpışma teorisi ile açıklanır. Tepkimeye giren maddelerin derişimi arttırılınca birim hacimdeki molekül sayısı artar. Böylece tepkimeye giren taneciklerin çarpışma sayısı artarak aktifleşmiş kompleks oluşturan tanecik sayısı artar.

Aktifleşme enerjisi değişmezken aktifleşme enerjisini aşabilen tanecik sayısı arttığı için tepkime hızı artar.

Tepkime hızı r = k.[tepkimeye giren]^n olduğundan k=r/[tepkimeye giren]^n eşitliğinde derişim artınca hız da aynı oranda arttığından hız sabiti (k) değişmez.

Örneğin $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$ tepkimesi tek basamakta olup sabit sıcaklık ve sabit hacimli kapta gerçekleşmektedir. Bu tepkimede N_2 derişimi sabit tutulup H_2 derişimi iki katına çıkarıldığında

$r = k[N_2][H_2]^3 \qquad r_1 = k(1)(1)^3 = k \qquad r_2 = k(1)(2)^3 = 8k$

olduğundan tepkime hızı 8 katına çıkar.

Bu tepkimenin gerçekleştiği kabın hacmi yarıya düşürülürse girenlerdeki maddelerin derişimleri iki katına çıkar. Buna göre tepkime hızı

$r = k[N_2][H_2]^3 \qquad r_1 = k(1)(1)^3 = k \qquad r_2 = k(2)(2)^3 = 16k$

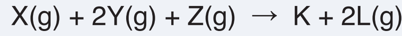
olduğundan tepkime hızı 16 katına çıkar.

Mekanizmalı tepkimelerde tepkimenin hız ifadesi, tepkimeye giren maddelerin başlangıç derişimlerinden ve tepkimenin başlangıç hızından yararlanılarak bulunur.

Bilgi Kutusu

Sıfırıncı dereceden tepkimelerde madde miktarının artması tepkime hızını değiştirmez.

Örnek


$X(g) + 2Y(g) + Z(g) \rightarrow K + 2L(g)$

Tepkimesi için sabit sıcaklıkta yapılan deney sonuçları aşağıda verilmiştir.

Deney No	Başlangıç Derişimleri (M)			Tepkimenin Başlangıç Hızı (M/s)
	[X]	[Y]	[Z]	
1	0,01	0,2	0,1	$1,2.10^{-4}$
2	0,02	0,2	0,1	$2,4.10^{-4}$
3	0,01	0,4	0,1	$1,2.10^{-4}$
4	0,01	0,2	0,2	$4,8.10^{-4}$

Verilen deney sonuçlarına göre

a) Tepkimenin hız ifadesini yazınız.

b) k hız sabitinin değerini ve birimini bulunuz.

c) Tepkimenin X, Y ve Z maddelerine göre derecesini ve tepkimenin derecesini bulunuz.

ç) Tepkimenin tek ya da çok basamaklı olduğunu belirtiniz.

d) [X] = 0,02 M , [Y] = 0,1 M ve [Z] = 0,01 M alındığında tepkimenin başlangıç hızı kaç M/s olur?

Çözüm

a) 1 ve 2. deney incelendiğinde [Y] ve [Z] sabit tutulup [X] iki katına çıkarıldığında tepkime hızı iki katına çıkmıştır. Buna göre tepkime hızı [X] ile birinci dereceden doğru orantılı olarak değişir.

$r \propto [X]$

1 ve 3. deney incelendiğinde [X] ve [Z] sabit tutulup [Y] iki katına çıkarıldığında tepkime hızında değişme olmamıştır. Buna göre tepkime hızı [Y]'ne bağlı değildir.

1 ve 4. deney incelendiğinde [X] ve [Y] sabit tutulup [Z] iki katına çıkarıldığında tepkime hızı dört katına çıkmıştır. Buna göre tepkime hızı [Z] ile ikinci dereceden doğru orantılı olarak değişir.

$r \propto [Z]^2$

Buna göre tepkime hız ifadesi: $r = k[X][Z]^2$ şeklindedir.

b) Hız sabiti (k) değeri, tablodaki herhangi bir deney verilerinin hız ifadesinde yerine konulmasıyla bulunur.

I. deney verileri için k değeri

$r = k[X][Z]^2 \Rightarrow 1{,}2.10^{-4} = k[0{,}01][0{,}1]^2$, $k = 1{,}2$

k birimi: $M/s = k.M.M^2 \Rightarrow k = 1/s.M^2$ veya eşitlikte M yerine mol/L konulursa $k = L^2/mol^2.s$ olur.

c) $r = k[X][Z]^2$ hız ifadesine göre tepkime X'e göre birinci dereceden, Y'ye göre sıfırıncı dereceden ve Z'ye göre ikinci derecedendir. Tepkime derecesi 1+2 = 3 olur.

ç) Tepkime hız ifadesi net tepkimede girenlerin katsayısına uymadığı için tepkime çok basamaklıdır.

d) $r = k[X][Z]^2$ hız ifadesinde maddelerin derişimleri ve hız sabitinin değeri yerine yazılırsa

$r = 1{,}2.(0{,}02).(0{,}01)^2 \Rightarrow r = 2{,}4.10^{-6}$ M/s olarak bulunur.

Örnek

$X(g) + 2Y(g) + 3Z(g) \rightarrow 2K(g) + 3M(g)$ tepkimesi ile ilgili sabit sıcaklıkta yapılan deney sonuçları aşağıda verilmiştir.

I. X'in derişimi sabit tutulup Y ve Z derişimleri iki katına çıkarıldığında tepkime hızı, ilk hızın dört katına çıkıyor.

II. Kap hacmi iki katına çıkarılınca tepkime hızı 1/8'ine düşüyor.

III. Y derişimi sabit tutulup X ve Z derişimi iki katına çıkarılınca tepkime hızı 8 katına çıkıyor.

Buna göre tepkimenin yavaş basamağının hız denklemi nedir?

Çözüm

$r = k[X]^a[Y]^b[Z]^c$ olsun. Deneydeki derişimler ve tepkime hızları oranlanırsa

I. $2^b.2^c = 2^2 \Rightarrow b+c=2$ olur.

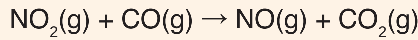
II. $(1/2)^a.(1/2)^b(1/2)^c=(1/2)^3 \Rightarrow a + b + c = 3$'tür. Buradan $b + c = 2$ olduğu için $a = 1$ olur.

III. $2^a.2^c = 2^3 \Rightarrow a + c = 3$'tür. $a = 1$ olduğundan $c = 2$ olur. Dolasıyla b=0 olur.

Buna göre tepkimenin hız ifadesi $r = k[X][Z]^2$ şeklinde olur.

Bu tepkimenin yavaş basamağı hız ifadesinden yararlanılarak $X + 2Z \rightarrow$ ürün şeklinde olur.

5.7. Alıştırma



$NO_2(g) + CO(g) \rightarrow NO(g) + CO_2(g)$

Tepkimesi için sabit sıcaklıkta yapılan deney sonuçları aşağıda verilmiştir.

Deney No	Başlangıç Derişimleri (M)		Tepkimenin Başlangıç Hızı (M/s)
	$[NO_2]$	[CO]	
1	0,1	0,1	21.10^{-4}
2	0,2	0,1	84.10^{-4}
3	0,2	0,2	84.10^{-4}

Verilen deney sonuçlarına göre

a) Tepkimenin hız ifadesini yazınız.

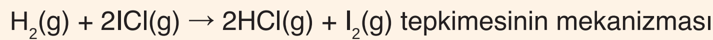
b) k hız sabitinin değerini ve birimini bulunuz.

c) Tepkimenin NO_2 ve CO maddelerine göre derecesini ve tepkimenin derecesini bulunuz.

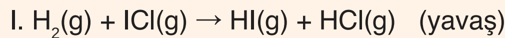
ç) Tepkimenin tek ya da çok basamaklı olduğunu belirtiniz.

d) Tepkime kabının hacmi yarıya indirilirse tepkime hızı nasıl değişir?

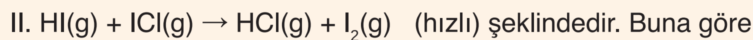
5.8. Alıştırma



$H_2(g) + 2ICl(g) \rightarrow 2HCl(g) + I_2(g)$ tepkimesinin mekanizması



I. $H_2(g) + ICl(g) \rightarrow HI(g) + HCl(g)$ (yavaş)



II. $HI(g) + ICl(g) \rightarrow HCl(g) + I_2(g)$ (hızlı) şeklindedir. Buna göre

a) HI derişimi iki katına çıkarılırsa

b) ICl derişimi üç katına çıkarılırsa

c) Tepkime kabının hacmi iki katına çıkarılırsa tepkime hızı nasıl değişir?

5.3. ETKİNLİK

Etkinliğin Adı: **Derişimin Tepkime Hızına Etkisi**

Etkinliğin Amacı: Derişimin tepkime hızına etkisini açıklamak

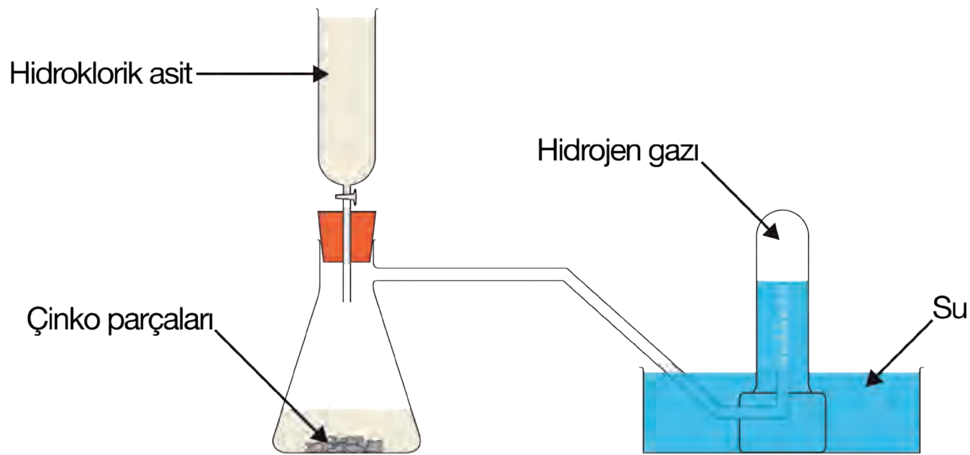
Etkinliğin Süresi: 40 dakika

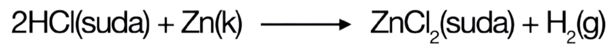
Araç ve Gereçler

- Özdeş Zn parçaları
- Erlenmayer
- Saf su
- Derişik HCl

Uygulama Aşamaları

1. İki adet erlenmayere 50 mL su ekleyiniz.
2. Erlenmayerden birine 10 mL diğer erlenmayer 20 mL derişik HCl çözeltisinden ilave ediniz.
3. Her bir erlenmayere iki adet Zn parçası ilave ediniz.
4. 10 mL ve 20 mL derişik HCl çözeltileri için aşağıdaki görselde verilen deney düzeneğini hazırlayınız.
5. Erlenmayerlerdeki tepkimeleri gözlemleyiniz.
6. Erlenmayerlerdeki tepkime hızlarını uygun olan yöntemlerle (gaz çıkış hızı, çinko parçalarında küçülme hızı) karşılaştırınız.





$$2HCl(suda) + Zn(k) \longrightarrow ZnCl_2(suda) + H_2(g)$$

Etkinliğin Değerlendirilmesi

Zn metalinin HCl çözeltisi ile oluşturduğu tepkime denkleminden yararlanarak tepkime hız ifadesini belirleyiniz. Hız ifadesinden yararlanarak hangi maddenin tepkime hızına etki ettiğini bulunuz. Deneyde hangi erlenmayerde tepkimenin daha hızlı gerçekleştiğini tespit ettikten sonra asit çözeltisinin derişimi ile tepkime hızını ilişkilendiriniz.

Sıcaklığın Tepkime Hızına Etkisi

Yiyeceklerin sıcak havalarda çabuk bozulmasının nedeni bakterilerin yol açtığı bozulma tepkimelerinin daha hızlı gerçekleşmesidir. Yiyecekler buzdolaplarına konularak sıcaklık düşürülür. Böylece bozulma tepkimelerinin yavaşlaması sağlanarak yiyeceklerin uzun süre saklanması sağlanır. Tepkimeler, girenlerdeki maddelerin etkin çarpışma yaparak aktivasyon enerjisini geçmesiyle gerçekleşir. Girenlerdeki maddelerin her çarpışması etkin olmadığı için bütün çarpışmalar tepkime ile sonuçlanmaz. Yeterli kinetik enerjiye sahip olmayan taneciklerin yaptığı çarpışmalarda da tepkime gerçekleşmez. Sıcaklık artışı taneciklerin kinetik enerjisini arttırır. Kinetik enerjileri artan tanecikler birbirleriyle daha hızlı çarpışır. Böylece birim hacimdeki etkin çarpışma sayısı arttığından tepkime hızı artar. Sıcaklığın artması ile aktifleşmiş kompleks sayısı artar fakat aktivasyon enerjisi değişmez. Birim zamanda aktivasyon enerjisini aşan ve ürünü oluşturan tanecik sayısı artar.

Sıcaklık artışı hem endotermik hem de ekzotermik olan tüm tepkimelerin hızını arttırır. Sıcaklık artışı aktifleşme enerjisi büyük tepkimelerin hızını aktifleşme enerjisi küçük tepkimelere göre daha çok arttırır.

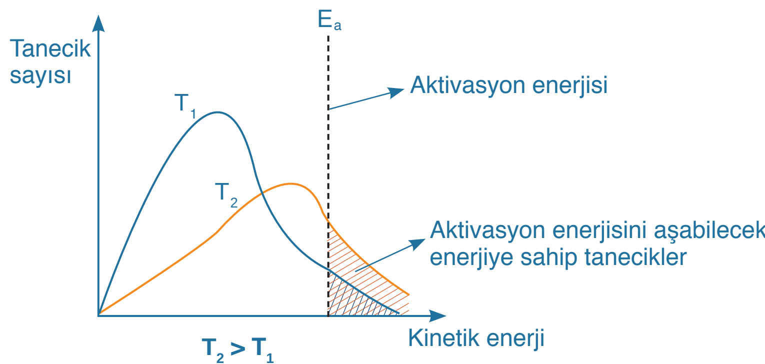
Sabit hacimde gerçekleşen tepkimelerde sıcaklık artışı toplam tanecik sayısını değiştirmediğinden derişimi etkilemez. Sıcaklık, tepkimelerin hız sabitinin artmasına neden olur. Örneğin tepkime hız ifadesi $r=k[M]^n$ olduğunda sıcaklık artışı, molar derişimini etkilemezken hız sabitini arttırarak tepkime hızını arttırır.

Ozon gazının atmosferde bozunma tepkimesi

$O_3(g) \rightarrow O_2(g) + O(g)$ şeklindedir. Bu tepkimenin sıcaklıkla hız sabitinin değişim değerleri Tablo 5.4'te verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde hız sabitinin sıcaklıkla doğru orantılı değiştiği görülür. Sıcaklık artmasıyla ozon gazının bozunma hızı da artar. Sıcaklık artışının atom ve moleküllerin kinetik enerjilerini ve aktivasyon enerjisini aşabilecek enerjiye sahip tanecik sayısını gösteren Grafik 5.5'te verilmiştir.

Tablo 5.4: *Ozon Gazının Bozunma Tepkimesinin Sıcaklıkla Hız Sabiti Değişim Değerleri*

Sıcaklık (K)	Hız Sabiti (1/s)
600	$3{,}37.10^3$
700	$4{,}85.10^4$
800	$3{,}58.10^5$
900	$1{,}70.10^6$
1000	$5{,}90.10^6$
1100	$1{,}63.10^7$
1200	$3{,}81.10^7$



Grafik 5.5: *Bir tepkimede, giren taneciklerin T_1 ve T_2 sıcaklıklarında kinetik enerji dağılımları*

Grafik 5.5 incelendiğinde T_1 ve T_2 sıcaklıklarında aktivasyon enerjisinin değişmediği görülür. Taneciklerin ortalama kinetik enerjileri T_2 sıcaklığında T_1 sıcaklığına göre daha fazladır. T_2 sıcaklığında aktivasyon enerjisini aşabilecek enerjiye sahip tanecik sayısı T_1 sıcaklığına göre daha fazladır. $T_2 > T_1$ olduğundan T_2 sıcaklığında etkin çarpışma sayısı, hız sabiti (k) ve tepkime hızı T_1 sıcaklığına göre daha fazladır.

5.4. ETKİNLİK

Etkinliğin Adı: Sıcaklığın Tepkime Hızına Etkisi

Etkinliğin Amacı: Sıcaklığın tepkime hızına etkisini açıklamak

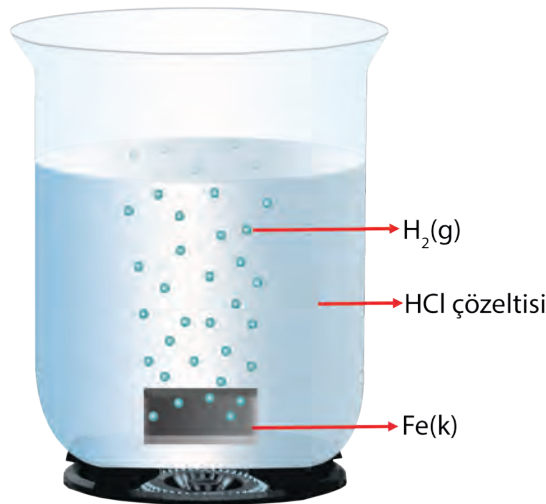
Etkinliğin Süresi: 40 dakika

Araç ve Gereçler

- Fe parçaları
- Beher
- Saf su
- Derişik HCl
- Isıtıcı

Uygulama Aşamaları

1. İki adet behere 50 mL su ekleyiniz.
2. Beherlerdeki 50 mL su üzerine 10 mL derişik HCl çözeltisinden yavaş yavaş ilave ediniz.
3. Her bir behere iki adet Fe parçası ilave ediniz.
4. Beherden birini ısıtıcı ile ısıtınız ve beherdeki tepkimeleri gözlemleyiniz.
5. Beherdeki tepkime hızlarını uygun yöntemlerle (gaz çıkış hızı, demir parçalarında küçülme hızı, renk değişimi) karşılaştırınız.



Etkinliğin Değerlendirilmesi

Fe metalinin HCl çözeltisi ile tepkimesini yazarak tepkimenin hız ifadesini belirleyiniz. Deneyde hangi beherdeki tepkimenin daha hızlı gerçekleştiğini tespit ettikten sonra sıcaklık ile tepkime hızını ilişkilendiriniz. Sıcaklığın tepkime hızına etkisini hız ifadesini kullanarak yorumlayınız.

5.9. Alıştırma

$A(g) + 2B(g) \rightarrow C(g)$ + ısı tepkimesinin sıcaklığı arttırıldığında

a) İleri ve geri tepkime hızı

b) Aktivasyon enerjisi

c) Hız sabiti (k)

ç) Etkin çarpışma sayısı nasıl değişir? Nedenini açıklayınız.

Katalizörün Tepkime Hızına Etkisi

Tepkime hızını arttıran ve tepkime sonunda değişmeden çıkan maddelere **katalizör** denir. Katalizörlerin tepkimede yaptığı etkiye **kataliz** denir. Katalizörler, mekanizmalı tepkimelerde net tepkime denkleminde gösterilmez. Ancak katalizörün belirtilmesi gereken tepkimelerde katalizör, tepkime denklemindeki ok işaretinin üzerinde gösterilir. Bazı tepkimelerde katalizörler hızı azaltır. Bu tür katalizörlere **negatif katalizörler (inhibitör)** denir.

Bilgi Kutusu

Katalizör, genel anlamda tepkime hızını arttıran madde olarak bilinir.

Bir tepkimede katalizör, tepkimeye giren maddelerle aynı fazda ise homojen katalizör, farklı fazda ise heterojen katalizör olarak sınıflandırılır. Heterojen katalizörler genelde katı, tepkenler ise sıvı ya da gaz fazında bulunur. Heterojen katalizörler endüstride yoğun olarak kullanılır.

Bilgi Kutusu

Endüstride, katalizör, tepkimelerin hızlı şekilde gerçekleşmesinde önemli bir etkendir. Örneğin sıvı yağların hidrojen ile doyurularak katı yağ elde edilmesinde heterojen katalizör kullanılır.

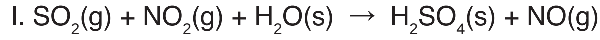
$$C_2H_4(g) + H_2(g) \xrightarrow{Ni_{(k)}} C_2H_6(g)$$ Ni(k): heterojen katalizör

Katalizörler, ileri ve geri tepkimenin aktivasyon enerjisini eşit miktarda düşürerek ileri ve geri tepkime hızını arttırır (Grafik 5.6).

***Grafik 5.6:** Katalizörlü ve katalizörsüz tepkimelerde potansiyel enerjinin zamanla değişimi*

Örneğin $SO_2(g) + 1/2O_2(g) + H_2O(s) \rightarrow H_2SO_4(s)$ tepkimesi tek basamakta gerçekleşen yavaş bir tepkimedir. Bu tepkime ortamına $NO_2(g)$ katalizörü eklenirse tepkime hızlanır.

Tepkime mekanizması


I. $SO_2(g) + NO_2(g) + H_2O(s) \rightarrow H_2SO_4(s) + NO(g)$

II. $NO(g) + 1/2O_2(g) \rightarrow NO_2(g)$

$SO_2(g) + 1/2O_2(g) + H_2O(s) \rightarrow H_2SO_4(s)$ Net tepkime denklemi

Bu tepkimede NO(g) ara ürün, $NO_2(g)$ katalizördür. Katalizör bir ara basamakta tepkimeye girer, diğer basamakta değişmeden yeniden oluşur. Ara ürün ise bir basamakta oluşurken diğer bir ara basamakta tekrar harcanır. Denklemde görüldüğü üzere tepkime tek basamakta gerçekleşirken katalizör tepkimenin basamak sayısını arttırmıştır.

Katalizörlerin özellikleri

- Tepkimeyi başlatmak için kullanılmaz. Ancak başlamış bir tepkimeyi hızlandırır.
- Aktivasyon enerjisini düşürerek tepkimeyi hızlandırır.
- Her tepkimenin kendine özgü bir katalizörü vardır.
- Hız sabiti (k) değerini arttırır.
- Aktifleşmiş kompleksin türünü değiştirerek enerjisini düşürür.
- Tepkimenin yolunu ve mekanizmasını değiştirir.
- Etkin çarpışma sayısını arttırır.
- Giren ve ürünlerin enerjilerini etkilemez.
- Tepkime entalpisini (ΔH) değiştirmez.
- Oluşan ürünün tür ve miktarını değiştirmez.
- Tepkimenin yönünü değiştirmez.

5.10. Alıştırma

Katalizörün tepkime hızını arttırmasının nedenini açıklayınız.

5.11. Alıştırma

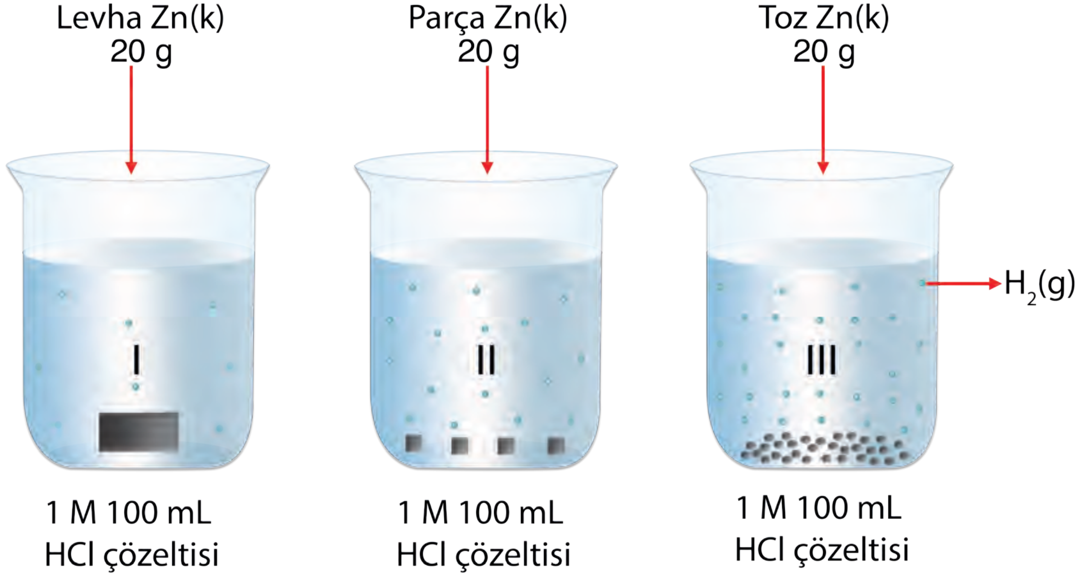
Katalizörlerin; aktivasyon enerjisi, tepkime entalpisi, oluşan ürün miktarı ve etkin çarpışma sayısına etkisini açıklayınız.

Temas Yüzeyinin Tepkime Hızına Etkisi

Heterojen tepkimelerde tepkime hızı katıların temas yüzeyine bağlıdır. Örneğin Zn katısının HCl çözeltisi ile tepkimesi

$Zn(k) + 2HCl(suda) \rightarrow ZnCl_2(suda) + H_2(g)$ şeklindedir.

Tepkimede Zn katısının toz hâline getirilmesi, oluşan ürün miktarını değiştirmez. Fakat birim zamanda oluşan ürün miktarı arttığı için tepkime hızı artar. Bu tepkimede tepkime hız ifadesi $r=k.[HCl]^2$ şeklindedir. Tepkimede HCl derişimi sabit tutularak Zn katısının temas yüzeyi arttırıldığında tepkime hız sabiti artarak tepkimenin hızlı gerçekleşmesini sağlar.

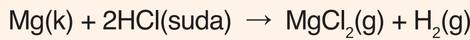


Görsel 5.4: *Levha, parça ve toz çinkonun HCl çözeltisi ile tepkimesi sonucu birim zamanda açığa çıkan* H_2 *gazı*

Görsel 5.4 incelendiğinde çinkonun HCl çözeltisi ile tepkimesi sonucu birim zamanda açığa çıkan hidrojen gazının en fazla toz çinkoda olduğu görülür.

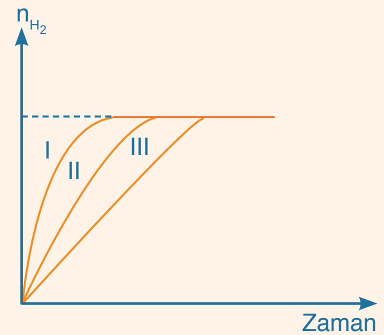
$CaCO_3(k)$ + ısı $\rightarrow$ $CaO(k) + CO_2(g)$ tepkimesinin hız ifadesi r = k şeklindedir. Sabit sıcaklıkta gerçekleşen tepkimede $CaCO_3$'ın küçük parçalar hâline getirilmesi temas yüzeyini ve tepkime hız sabitini arttırır. r = k olduğu için de tepkime hızı artar.

5.12. Alıştırma



$Mg(k) + 2HCl(suda) \rightarrow MgCl_2(g) + H_2(g)$

Tepkimesinde aynı miktar magnezyum metali; levha, parça ve toz hâlinde ayrı ayrı HCl ile tepkimeye sokuluyor. Aynı şartlarda magnezyum metalinden farklı büyüklükler kullanılarak gerçekleşen tepkimede zamanla açığa çıkan hidrojen gaz miktarı grafiği yan tarafda verilmiştir. Grafikte verilen I, II ve III eğrileri tepkimede kullanılan magnezyum metalinin levha, parça ve toz hâllerinin hangisine aittir? Grafikteki eğrilere ait tepkimelerin hız sabitlerini (k) büyükten küçüğe sıralayınız.



OKUMA PARÇASI

Oktay SİNANOĞLU

25 Şubat 1935 yılında babasının başkonsolos olarak görev yaptığı İtalya'nın Bari kentinde doğdu. Annesi Rüveyde Hanım, babası Nüzhet Haşim Sinanoğlu ve kız kardeşi Esin ile II. Dünya Savaşı'nın çıkmasıyla Türkiye'ye döndüler. 1941 yılında babası Nüzhet Haşim Sinanoğlu vefat etti.

Atatürk tarafından 1928 yılında kurulan TED (Türk Eğitim Derneği) Yenişehir Lisesinde burslu olarak okudu ve buradan 1953 yılında birincilikle mezun oldu. Okulun bursuyla kimya mühendisliği okumak üzere ABD'ye gitti.

1956 yılında ABD Kaliforniya Üniversitesi, Berkeley Kimya Mühendisliğini birincilikle bitirdi. 1957 Massachusetts Teknoloji Enstitüsünü (MIT) sekiz ayda birincilikle bitirerek yüksek kimya mühendisi oldu. 1959 yılında Kaliforniya Üniversitesi Berkeleyde iki yılda kuramsal kimya doktorasını tamamladı.

1960'ta Yale Üniversitesine asistan profesör unvanıyla öğretim üyesi oldu.

1961-1962 yıllarında "Öğecik (atom) ve Özdeciklerin (moleküllerin) Çok Eksicikli (elektronlu) Kuramı" ile profesörlüğe adım attı. Temel fizik kanunlarından başlayarak çeşitli maddelerin kimyasal ve fiziksel özelliklerini bulmak için gerekli bu temel kuramla 50 yıldır çözülemeyen bir matematik kuramını bilim dünyasına kazandırdı. 26 yaşında "tam profesör" unvanını aldı. Yale Üniversitesinde bu unvanı kazanan en genç öğretim üyesi oldu.

1964 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi mütevelli heyeti yalnız Oktay Sinanoğlu'na özel "danışman profesör" unvanı verdi. Yale Üniversitesinde ikinci bir kürsüye daha profesör olarak atandı. Bu kürsü dünyada yeni kurulmaya başlanan "Moleküler Biyoloji" idi. Kalıtımı sağlayan DNA molekülünün yapısının neden çift sarmal olduğunu ve bunu bir arada tutan kuvvetlerin ne olduğu üzerine yaptığı çalışmasıyla (Solvofobik-Çözgen İter Kuvveti Kuramı) moleküler biyolojinin kurucuları arasına katıldı. 1964 yılında uluslararası bilimsel yaz okulunu düzenledi. Bu yaz okulu "Nicem Kimyası" üzerineydi; savaş sonrası ve soğuk savaş nedeniyle birbirinden kopuk olan dünyanın dört bir yanındaki bilimcileri bir araya getirdi. Tamamen ayrı bir saha olan yüksek enerji fiziği üzerine çalışmaları sonucu "Yeni Sekiz Mezon (maddeyi oluşturan temel taneciklerden sekizi) ve Özellikler Kuramı"nı buldu.

1964-1965 yıllarında NIH'ye (Amerikan Ulusal Sağlık Bilimleri Kurumu) danışman oldu. Ulusal Bilimler Akademisi'nde "Kuramsal Kimya Üst Komitesi"nin üyesi oldu.

1966 yılında TÜBİTAK Bilim Ödülü'nü alan ilk kişi oldu.

1968 yılında ODTÜ'de Kuramsal Kimya Bölümü'nü kurdu.

Dünyanın değişik yerlerinde çok sayıda sempozyuma konuşmacı olarak katıldı.

1980'li yıllarda kimya biliminin basit bir şekilde öğretilmesine yönelik bir kuramsal çerçeve üzerinde yoğunlaştı. Kendi matematiksel teorilerinden ''Sinanoğlu Made Simple" (Sinanoğlu Basit Yaptı) adlı araştırma sistemi geliştirdi. Bu metot kimyagerlere basit resimler ve periyodik tablo kullanarak kompleks kimya problemlerini çözme yolları sağlar. Sinanoğlu, bu metodu ile 12 yaşındaki bir çocuğun bile kimyayı kolaylıkla anlayabileceğini ve resimli kuralların kimyayı eğlenceli bir oyuna çevireceğini belirtir.

1993'te Yale Üniversitesinden emekliye ayrılarak Türkiye'ye döner ve Yıldız Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'nde profesörlüğe atanır. 1992'de Bilgi Çağı Ödülü, 1995'te İLESAM Üstün Hizmet Ödülü ve 2002'de Uğur Mumcu Bilim Ödülü alan Sinanoğlu aynı yıl Yıldız Teknik Üniversitesindeki görevden de emekli olur.

Oktay Sinanoğlu; kimya, moleküler biyoloji, biyokimya ve biyofizik çalışmalarının yanı sıra kendisini Türk ulusal kimliği ve Türk diliyle ilgili görüşlerini yaymaya adar. Eğitim dilinin resmi dil olan Türkçe olması, yabancı dillerin takviyeli olarak öğretilmesinin gerektiğini savunur. Matematiksel yapısından dolayı Türkçenin en iyi bilim dili olduğunu söyler.

İki kere Nobel Ödülü'ne aday gösterilen Sinanoğlu'nun bilimsel makaleler ve kitapların yanı sıra Türkiye'de çağdaş meseleler üzerine çok sayıda eseri vardır. 250 kadar uluslararası bilimsel yayını, bilim kuramları, çeşitli dillere çevrilmiş eserleri vardır. Prof. Dr. Oktay Sinanoğlu 81 yaşında; 19 Nisan 2015 tarihinde Amerika Birleşik Devletleri Florida'da hayatını kaybetti (Görsel 5.5).

Görsel 5.5: Oktay SİNANOĞLU

Sinanoğlu:

"...GENÇLER, Türkiye'de âdet hâline gelmiş göstermelik işlerden kaçının. Sırf üniversite bitirdi desinler diye, ananız babanız Amerika'da mastır yaptı diye öğünebilsin diye yüksek öğrenime gitmeyin. Sonunda ancak kendinizi kandırırsınız. Temel gayeleriniz, kendinizin ufak çıkarları ötesinde, kendiniz dışında, bu ülke, bu ulus, Türk dünyası, Avrasya, insanlık için olsun. Yüksek hedefleriniz için çalışın. O zaman, kendi durumunuz da kendiliğinden düzelecektir. Maddiyat ile maneviyatı dengeleyin. Formülünüz "bilim + gönül"dür. Bu iki kanadın biri eksik olursa ne kendinize ne de insanlığa hayrınız dokunur."

Akademik kitapları

Modern Quantum Chemistry: Istanbul Lectures (Academic Press, 1965)
Sigma Molecular Orbital Theory (Yale Press, 1970)
Three Approaches to Electron Correlation in Atoms and Molecules (with K. Brueckner, Yale Press, 1971)
New Directions in Atomic Physics (with E. Condon, Yale Press, 1971)

Kitapları

Göçmen Hamamı
2050'ye 5 Kala Dünyanın 105 Yıllık Tarihi İlerisi için
Türkçe Giderse Türkiye Gider
Bye Bye Türkçe / Bir Nev-York Rüyası
Büyük Uyanış
Hedef Türkiye
Ne Yapmalı / Yeniden Diriliş ve Kurtuluş İçin
Yeni Bilim Ufukları 1, Yeni Bilim Ufukları 2, Yeni Bilim Ufukları 3
Yeni Bir Matematik Kuramı ve Onunla Bazı Fizik Kimya İlkelerinin Bulunması
Açıklamalı Fizik, Kimya, Matematik Ana Terimleri Sözlüğü

Oktay Sinanoğlu'nun En Önemli Beş Kuramı

- *Many Electron Theory of Atoms and Molecules (1961) – Atom ve Moleküllerin Çok Elektronlu Kuramı*
- *Solvophobic Theory (1964) – Çözgeniter Kuramı*
- *Network Theory (1974) – Kimyasal Tepkime Mekanizmaları Kuramı*
- *Microthermodynamics (1981) – Mikrotermodinamik*
- *Valency Interaction Formula Theory (1983) – Değerlik Kabuğu Etkileşim Kuramı.*

Oktay Sinanoğlu beş önemli teorisinden biri olan Network Theory'yi (Kimyasal Tepkime Mekanizmaları Kuramı) 1974 yılında yazdı. Bazı tepkimelerde reaktifler tek basamakta tepkimeyi gerçekleştiremez. Bu durumda moleküllerin çarpışmasının birden çok basamakta gerçekleşmesi ve bu durumu takip eden tepkime basamakları kuramın temelini oluşturur. Bu kurama göre reaksiyona giren reaktif türü arttıkça reaksiyon birçok basamaktan oluşur. Bu basamaklarda bazı ürünler oluşur ve yok olur bu ürünler ara ürünlerdir.

Yazarlar tarafından düzenlenmiştir.

5. ÜNİTE ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A **Aşağıda verilen bilgilere göre soruları cevaplandırınız.**

TEPKİME HIZI

Tepkimeye giren maddelerin derişimi arttırılınca birim hacimdeki molekül sayısı artar. Böylece tepkimeye giren taneciklerin çarpışma sayısı artarak aktifleşmiş kompleks oluşturan tanecik sayısı artar. Aktifleşme enerjisi değişmezken aktifleşme enerjisini aşabilen tanecik sayısı arttığı için tepkime hızı artar.

Sıcaklık artışı hem endotermik hem de ekzotermik olan tüm tepkimelerin hızını arttırır. Sıcaklığın artması ile aktifleşmiş kompleks sayısı artar fakat aktivasyon enerjisi değişmez. Sıcaklık, tepkimelerin hız sabitinin artmasına neden olur.

Tepkime hız ifadesinde üst sayıların toplamı tepkime derecesine eşittir.

3A(g) + 2C(g) $\rightarrow$ 2D(g) tepkimesi için yapılan deney sonuçları aşağıda verilmiştir.

Deney No	Sıcaklık (K)	Başlangıç Derişimleri (M)		Tepkimenin Başlangıç Hızı (M/s)
		[A]	[B]	
1	T	0,2	0,2	12.10^{-2}
2	T	0,2	0,1	6.10^{-2}
3	T	0,4	0,3	72.10^{-2}
4	2T	0,2	0,1	8.10^{-2}

Yukarıdaki tabloda verilen bilgilere göre aşağıdaki soruları yanıtlayınız.

1. Tepkime hız ifadesini yazınız.

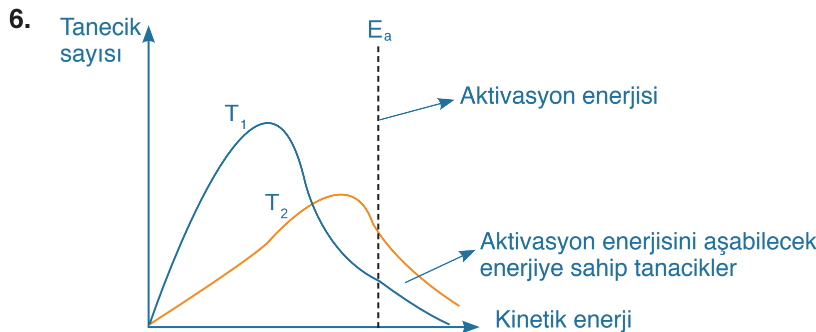
2. T sıcaklığında tepkime hız sabiti değerini hesaplayınız.

3. Tepkime derecesini bulunuz.

4. 2T sıcaklığında tepkime hız sabiti değerini bulunuz.

5. Sıcaklığın, hız sabiti değerini nasıl etkilediğini nedenleriyle açıklayınız.

6.



T_1 ve T_2 sıcaklıklarının kaç numaralı deneyler için olabileceğini belirtiniz.

B **Aşağıdaki kavramlar ile ilgili verilen bilgileri doğru (D) ya da yanlış (Y) olarak belirtiniz. Yanlış ise nedenini yazınız.**

	Kavramlar	D/Y	Yanlış ise Nedenini Yazınız
7.	**Tepkime hızları**		
a)	Her çarpışma, tepkime ile sonuçlanmaz.		
b)	Tepkime entalpisi, daima pozitif bir değerdir.		
c)	Etkin çarpışma olabilmesi için girenlerin birbiri ile her doğrultuda çarpışması gerekir.		
ç)	İleri aktivasyon enerjisi, geri aktivasyon enerjisinden büyük olan tepkimeler endotermiktir.		
d)	Kimyasal bir tepkimede girenlerin derişiminin artması hız sabitini (k) değiştirmez.		
e)	Aktivasyon enerjisi, negatif bir değer olabilir.		
f)	Aktifleşmiş kompleks, her zaman ürüne dönüşür.		
g)	Tepkimeler zamanla hızlanır.		
ğ)	Tepkime hız ifadesinde katı ve sıvılar yer almaz.		
h)	Tepkime hız sabiti birimi her tepkime için farklıdır.		
ı)	Eşik enerjisi büyük olan tepkimeler hızlı gerçekleşir.		
8.	**Tepkime hızına etki eden faktörler**		
a)	Çok basamaklı kimyasal bir tepkimenin hızını aktifleşme enerjisi küçük olan basamak belirler.		
b)	Sıcaklık, ekzotermik tepkimelerin hızını arttırmaz.		
c)	Katalizör, etkin çarpışma sayısını arttırarak tepkime hızını arttırır.		
ç)	Zıt yüklü iyonlar arası tepkimeler hızlı gerçekleşir.		
d)	Heterojen tepkimelerde hız sabiti (k) katının temas yüzeyine bağlı değildir.		
e)	Katalizörler tepkimenin yönünü değiştirmez.		
f)	Sıcaklık aktifleşme enerjisini düşürür.		
g)	Çok basamaklı tepkimelerin ara basamaklarında oluşup harcanan maddelere katalizör denir.		
ğ)	Katalizör ileri ve geri aktivasyon enerjisini aynı oranda düşürür.		
h)	Tepkime derecesi 3 olan bir tepkimede sabit sıcaklıkta hacim yarıya indirildiğinde tepkime hızı 8 katına çıkar.		

C Aşağıdaki kutularda verilen ifadelerden uygun olanları boşluklara yazınız.

geri aktivasyon enerjisi	hızlı	M/L.s	ileri aktivasyon enerjisi
tek basamaklı	eşik enerjisi	ürün	yavaş
etkin çarpışma	ara ürün	tepkime entalpisi	24
4	mol/L.s	çok basamaklı	aktivasyon enerjisi
molekülerite	giren	katalizör	mertebe

9. Tepkimenin gerçekleşebilmesi için reaktiflerin .... yapması gerekir.

10. Çok basamaklı tepkimelerde tepkime hızını .... basamak belirler.

11. Tepkimenin ileri ve geri aktivasyon enerjileri arasındaki fark .... eşittir.

12. Ara basamaklarda oluşan ve harcanan maddelere .... denir.

13. Aktifleşmiş kompleks ile ürünlerin enerjileri arasındaki fark .... eşittir.

14. Birden fazla tepkimenin toplanması ile oluşan tepkimelere .... denir.

15. Katalizör tepkimelerin .... düşürerek tepkimeyi hızlandırır.

16. .... tepkime hız birimidir.

17. $A_2(g) + 3B_2(g) \rightarrow 2AB_3(g)$ tepkimesi tek basamakta gerçekleştiğine göre $[A_2]$ üç katına, $[B_2]$ iki katına çıkarılırsa tepkime hızı .... katına çıkar.

18. Derecesi 2 olan tepkimelerde hacim yarıya indirildiğinde tepkime hızı .... katına çıkar.

19. Bir tepkimede reaksiyona giren molekül sayısına .... denir.

20. Heterojen tepkimelerde temas yüzeyinin arttırılması birim zamanda oluşan .... miktarını arttırır.

Ç Aşağıdaki açık uçlu soruları cevaplayınız.

21. $2NO(g) + 2H_2(g) \rightarrow N_2(g) + 2H_2O(g)$ tepkimesi için

a) Tepkimenin hızı ne zaman en yüksektir?

b) Zaman ilerledikçe tepkime hızının nasıl değiştiğini nedeniyle açıklayınız.

c) $NO(g)$ harcanma hızı ile $N_2(g)$ oluşma hızı arasındaki bağıntıyı yazınız.

ç) $H_2O(g)$'nın oluşma hızı zamanla nasıl değiştiğini açıklayınız.

d) Tepkime homojen mi heterojen midir?

22. I. $Ca^{2+}(suda) + SO_4^{2-}(suda) \rightarrow CaSO_4(suda)$

II. $C_6H_{14}(s) + 19/2O_2(g) \rightarrow 6CO_2(g) + 7H_2O(g)$

III. $Zn(k) + Cu^{2+}(suda) \rightarrow Zn^{2+}(suda) + Cu(k)$

Yukarıdaki tepkimelerin

a) Aynı koşullarda hızlarını karşılaştırınız.

b) Hızlarının farklı olmasının nedenini etkin çarpışma, aktivasyon enerjisi ve bağ sayısı üzerinden açıklayınız.

23. $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$

Tepkimesinin hızı aşağıda belirtilen şartlarda nasıl arttırılabilir?

a) Sabit hacim ve sıcaklıkta

b) Sabit miktar ve sıcaklıkta

c) Sabit hacim ve miktarda

ç) Sabit hacim, miktar ve sıcaklıkta

24. $Fe(k) + 2HCl(suda) \rightarrow FeCl_2(suda) + H_2(g)$

Tepkimesinin hızı nasıl arttırılabilir?

25. Tepkime hızlarının ölçülmesi için hangi yöntemler kullanılır?

26. Çok basamaklı tepkimelerde hızı, yavaş adımın belirlemesinin nedenini açıklayınız.

27. $A(g) \rightarrow B(g) + C(g)$ tepkimesinin ileri aktivasyon enerjisi 250 kJ, $\Delta H = +50$ kJ'dür. Tepkimede katalizör etkisiyle ileri aktivasyon enerjisi %10 oranında azalıyor. Buna göre tepkimede katalizör kullanıldığında geri aktivasyon enerjisi kaç kJ olur?

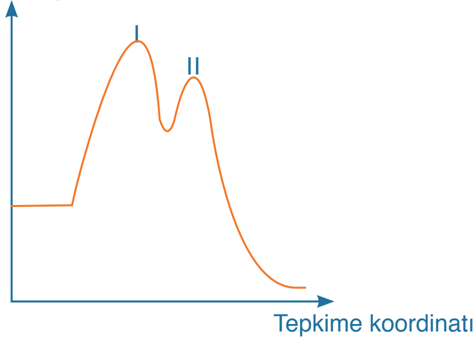
28. SO_2Cl_2'nin bozulma tepkimesi

$SO_2Cl_2(g) \rightarrow SO_2(g) + Cl_2(g)$ şeklinde gerçekleşir. Sabit sıcaklık altında SO_2Cl_2'nin derişiminin zamana karşı değişimi aşağıda verilmiştir.

Zaman (s)	$[SO_2Cl_2]$
0	0,1
100	0,0971
200	0,0944
300	0,0917
400	0,0890
500	0,0865

Buna göre SO_2Cl_2'nin 0-500 saniye zaman aralığındaki ortalama bozulma hızı kaç M/s'dir?

29.



Yukarıda enerji-tepkime koordinatı grafiği verilen tepkime için

a) Kaç basamaktan oluştuğunu nedeniyle açıklayınız.

b) I. basamaktaki reaksiyonun ileri ve geri aktivasyon enerjisini karşılaştırınız.

c) Yavaş basamağın hangisinin olduğunu nedeniyle açıklayınız.

ç) Mekanizmayı oluşturan I ve II. reaksiyonların ekzotermik ya da endotermik olduğunu belirtiniz.

30. $2A(g) + B(g) \rightarrow 2C(g) + 2D(g) + E(g)$

Tepkimesi ile ilgili elde edilen deney verileri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Deney No	Başlangıç [A]	Başlangıç [B]	Tepkime Başlangıç Hızı M/s
1	0,1	0,2	r_1
2	0,05	0,4	$2r_1$
3	0,1	0,6	$9r_1$

Buna göre

a) Tepkimenin hız ifadesi nedir?

b) Tepkime derecesini yazınız.

31. Sabit sıcaklıkta gerçekleşen bir tepkimenin mekanizması aşağıda verilmiştir.

I. $Cl_2(g) \rightarrow 2Cl(g)$ (hızlı)

II. $Cl(g) + CHCl_3(g) \rightarrow HCl(g) + CCl_3(g)$ (yavaş)

III. $CCl_3(g) + Cl(g) \rightarrow CCl_4(g)$ (hızlı)

Buna göre

a) Net tepkime denklemini

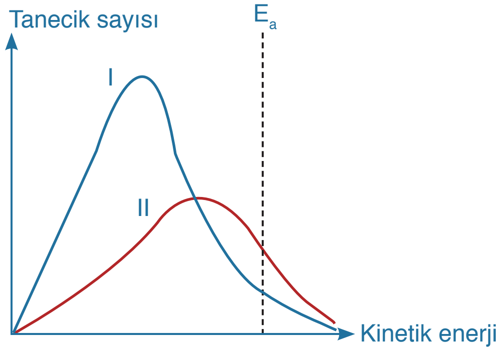
b) Hız ifadesini

c) Tepkime derecesini

ç) Tepkime moleküleritesini

d) Ara ürünü yazınız.

32. Sabit hacimli kapta gerçekleşen bir tepkimenin T_1 ve T_2 sıcaklıklarında tanecik sayısı-kinetik enerji grafiği aşağıda verilmiştir.



T_1 sıcaklığında reaksiyon daha hızlı gerçekleştiğine göre

a) Eğrilerin hangi sıcaklığa ait olduğunu belirtiniz.

b) T_1 ve T_2 sıcaklıklarında taneciklerin ortalama kinetik enerjilerini karşılaştırınız.

c) Birim zamanda aktivasyon enerjisini aşabilecek tanecik sayısını karşılaştırınız ve aşan taneciklerin grafikte yerini gösteriniz.

ç) T_1 ve T_2 sıcaklıklarında hız sabitlerinin değerini karşılaştırınız.

33. $2A(g) + 3B(g) \rightarrow 2C(g)$ tepkimesi için üç deneyde elde edilen tepkime hızları tabloda verilmiştir.

Deney No	Başlangıç [A]	Başlangıç [B]	Tepkime Başlangıç Hızı M/s
1	0,01	0,02	2.10^{-5}
2	0,01	0,04	4.10^{-5}
3	0,02	0,04	16.10^{-5}

Buna göre

a) Tepkime hız ifadesi nedir?

b) Hız sabiti değeri kaçtır?

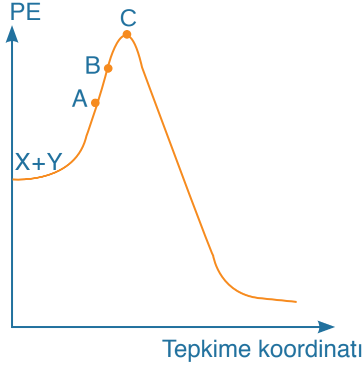
c) Tepkime derecesi kaçtır?

ç) [A] = 0,04 M, [B] = 0,01 M olduğunda tepkime hızı kaç M/s'dir?

34. $A(g) + B(g) \rightarrow C(g) + D(g) + 20$ kJ tepkimesinin ileri aktivasyon enerjisi 80 kJ'dür.
Buna göre tepkimenin geri aktivasyon enerjsi kaç kJ'dür?

D **Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları cevaplayınız.**

35. Grafiğe göre X ve Y'nin çarpışması sonucu oluşan kompleks A, B,C noktalarına ulaşmaktadır.



Buna göre

I. A noktasına ulaşan çarpışmalar, etkin çarpışmadır.

II. C noktasına ulaşan çarpışmalar, ürüne dönüşebilir.

III. B noktasına ulaşan çarpışmalarda kinetik enerji yetersiz ya da çarpışma geometrisi uygun değildir.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

D) II ve III E) I, II ve III

36. nA(g) + mB(g) $\rightarrow$ nC(g)

Tepkimesi tek basamakta oluşuyor. A ve B'nin harcanma hızı $r_A = \frac{1}{2} r_B$ şeklindedir. Tepkime kabının hacmi iki katına çıkarıldığında hız sekizde birine düşüyor.

Buna göre

I. Tepkime hız ifadesi r = k$[A]^2[B]$'dir.

II. C'nin formülü AB'dir.

III. Hız sabiti birimi $\frac{1}{M^2s}$ 'dir.

yargılarından hangileri doğrudur?

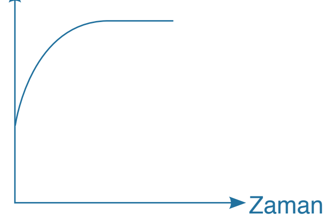
A) Yalnız III B) I ve II C) I ve III

D) II ve III E) I, II ve III

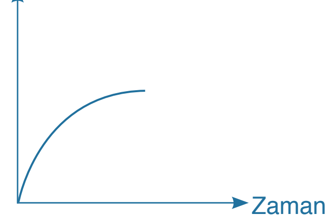
37. A(g) + 2B(g) $\rightarrow$ C(g) + 2D(g) + E(g)

Artansız gerçekleşen tepkime için aşağıda grafikler çizilmiştir.

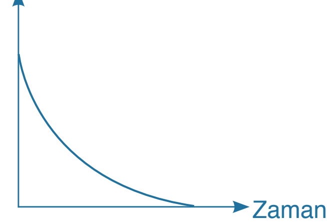
I.



II.



III.



Buna göre bu grafiklerden hangisi <u>yanlıştır</u>?

A) Yalnız I B) I ve II C) II ve III

D) Yalnız II E) I, II ve III

38. I. $2Fe(k) + 3/2O_2(g) \rightarrow Fe_2O_3(k)$

II. $Fe^{2+}(suda) + SO_4^{2-}(suda) \rightarrow FeSO_4(k)$

III. $C_4H_{10}(g) + 13/2O_2(g) \rightarrow 4CO_2(g) + 5H_2O(s)$

Verilen tepkimelerin aynı koşullarda hızlarının karşılaştırılması, aşağıdaki seçeneklerin hangisinde doğru verilmiştir?

A) I > II > III B) II > III > I C) II > I > III

D) III > I > II E) I > III > II

39. Bir kimyasal tepkimeyle ilgili

I. $\Delta H = E_{ai} - E_{ag}$'dir.

II. $E_{ai} > E_{ag}$ ise tepkime ekzotermiktir.

III. Aktifleşmiş kompleksin enerjisi girenlerin enerjisinden düşüktür.

yargılarından hangileri <u>yanlıştır</u>?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II

D) I ve III E) II ve III

40. $X_2(g) + 2Y_2(g) \rightarrow 2XY_2(g)$

Yukarıdaki tepkime tek basamakta gerçekleşmektedir. Kabın hacmi sabit sıcaklıkta yarıya indiriliyor.

Buna göre

I. Hız sabiti 8 katına çıkar.

II. Aktifleşme enerjisi değeri düşer.

III. Birim zamanda gerçekleşen etkin çarpışma sayısı artar.

yargılarından hangileri doğru olur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

D) I ve III E) I, II ve III

41. $A(g) + 3B(g) \rightarrow C(g) + D(g)$

tepkimesi için yapılan üç deneyde elde edilen veriler tabloda verilmiştir.

Deney No	Başlangıç [A]	Başlangıç [B]	Tepkime Başlangıç Hızı M/s
1	0,1	0,1	4.10^{-3}
2	0,1	0,4	16.10^{-3}
3	0,2	0,2	16.10^{-3}

Buna göre

I. Tepkime mekanizmalıdır.

II. Tepkime derecesi 2'dir.

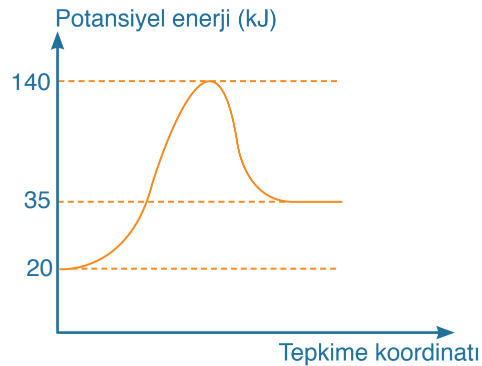
III. Tepkime moleküleritesi 4'tür.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve III

D) II ve III E) I, II ve III

42. Aşağıda bir tepkimenin potansiyel enerji-tepkime koordinatı grafiği verilmiştir.



Buna göre

I. E_{ag} = 120 kJ'dür.

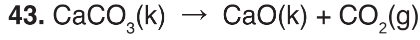
II. ΔH = -15 kJ'dür.

III. Aktifleşmiş kompleksin potansiyel enerjisi 140 kJ'dür.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

D) I ve III E) I, II ve III


43. $CaCO_3(k) \rightarrow CaO(k) + CO_2(g)$

Tepkimesi tek basamakta gerçekleşmektedir.

Buna göre

I. Aynı sıcaklıkta $CaCO_3(k)$ yüzeyinin arttırılması tepkime hızını arttırır.

II. Sabit sıcaklıkta zamanla tepkimenin hızı değişmez.

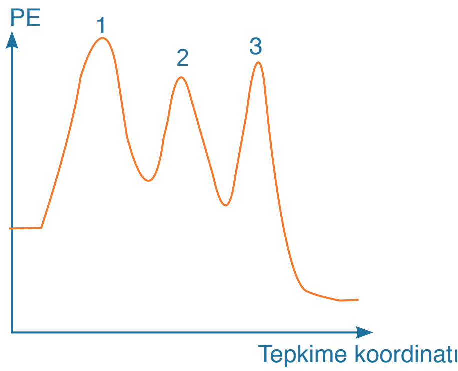
III. Sıcaklık yükseldiğinde tepkime hızı artar.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

D) II ve III E) I, II ve III

44. Bir tepkimenin mekanizmasına ait PE-TK grafiği aşağıda verilmiştir.



Buna göre

I. Tepkimenin hızını ikinci adım belirler.

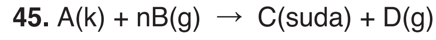
II. Net tepkime ekzotermiktir.

III. Potansiyel enerjisi en yüksek olan aktifleşmiş kompleks birinci adımda oluşur.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

D) II ve III E) I ve II


45. $A(k) + nB(g) \rightarrow C(suda) + D(g)$

Tepkimesi tek basamakta gerçekleşmektedir.

Tepkime hız sabiti birimi $\frac{1}{Ms}$ olduğuna göre

I. Sabit sıcaklıkta tepkime kabının hacmi yarıya indirilirse tepkime hızı 2 katına çıkar.

II. n = 2'dir.

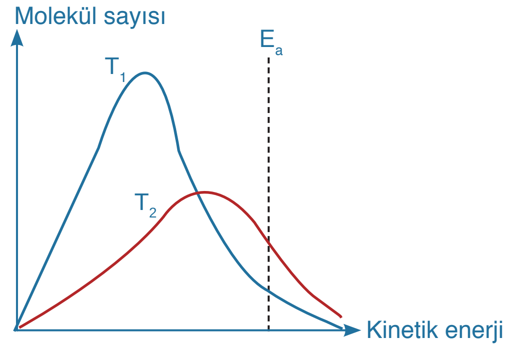
III. Sabit sıcaklıkta A(k) miktarı arttırıldığında D(g)'ın oluşma hızı artar.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II

D) I ve III E) II ve III

46. $X(g) + 2Y(g) \rightarrow Z(g)$ tepkimesinin sabit hacimli kapta farklı sıcaklıklarda çizilmiş molekül sayısı-kinetik enerji grafiği aşağıda verilmiştir.



Buna göre

I. T_1 sıcaklığındaki hız sabiti T_2 sıcaklığındaki hız sabitinden büyüktür.

II. Z'nin oluşma hızı T_2 sıcaklığında T_1 sıcaklığına göre daha fazladır.

III. T_2 sıcaklığında kaptaki mol sayısı azalış hızı T_1 sıcaklığından fazladır.

yargılarından hangileri doğru olur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve III

D) II ve III E) I, II ve III

47. Bir kimyasal tepkime oluşurken tepkime ortamına uygun katalizör ekleniyor.

Buna göre

I. Tepkime entalpisi

II. Etkin çarpışma sayısı

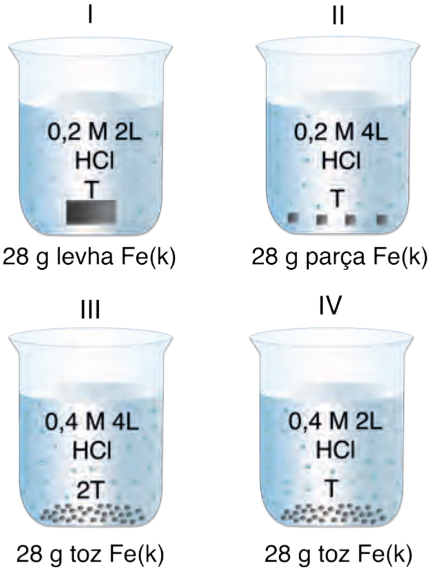
III. Oluşan ürün miktarı

niceliklerinden hangileri değişir?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

D) I ve II E) II ve III

48. Aşağıdaki kaplarda Fe(k) ve HCl(suda) arasında $Fe(k) + 2HCl(suda) \rightarrow FeCl_2(suda) + H_2(g)$ tepkimesi gerçekleşmektedir.



Tepkime tamamlandıktan sonra kaplardaki tepkime hızı ve açığa çıkan H_2(g) miktarının karşılaştırılması aşağıdakilerin hangisinde doğru verilmiştir? (Fe:56)

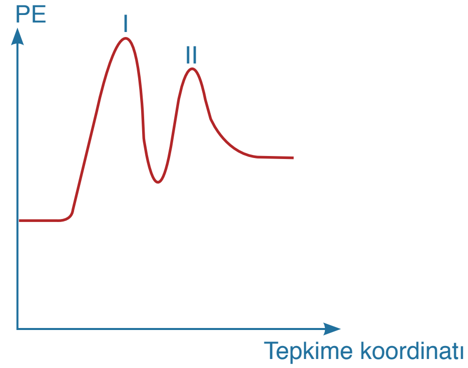
	Tepkime hızı	H_2(g) miktarı
A)	I > II > III > IV	III > IV > II > I
B)	III > IV > II > I	III > IV = II > I
C)	IV > III > II > I	III > IV > II > I
D)	III > IV > II > I	III > IV > I > II
E)	IV = III > I = II	III > IV = II > I

49.
$CaCO_3(k) + ısı \rightarrow CaO(k) + CO_2(g)$

Tepkimesine göre 10 saniyede N.K'da 4,48 litre CO_2(g) oluştuğuna göre, $CaCO_3$'ın harcanma hızı kaç g/s'dir? (C:12, O:16, Ca:40)

A) 0,2 B) 2 C) 4 D) 8 E) 10

50. Bir tepkimenin mekanizmasına ait PE-TK grafiği aşağıda verilmiştir.



Buna göre

I. Tepkimenin sıcaklığı arttırıldığında birinci adımın hızındaki artış ikinci adıma göre daha az olur.

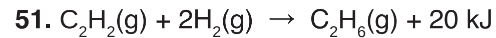
II. Birinci tepkime için $E_{ai} > E_{ag}$'dir.

III. Birinci adımdaki entalpi değişimi net tepkimedeki entalpi değişiminden daha büyüktür.

yargılarından hangileri yanlıştır?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II

D) I ve III E) II ve III

51. 
$C_2H_2(g) + 2H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g) + 20\ kJ$

Yukarıdaki tepkime sabit basınçlı bir kapta tek basamakta gerçekleşmektedir. **Buna göre tepkimeye aşağıdaki işlemlerden hangisi uygulanırsa tepkime hızı artar?**

A) Ortama C_2H_2(g) eklemek

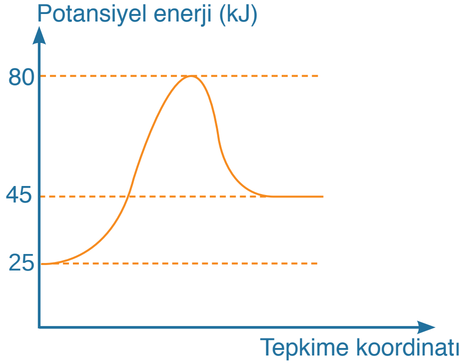
B) Sıcaklığı azaltmak

C) Katı pozitif katalizör eklemek

D) Ortama H_2(g) eklemek

E) Ortama He(g) eklemek

52. Aşağıda bir tepkimenin potansiyel enerji-tepkime koordinatı grafiği verilmiştir.



Tepkimede katalizör kullanıldığında

I. İleri aktivasyon enerjisi 55 kJ'den küçük olur.

II. Tepkime entalpisi 20 kJ'den büyük olur.

III. İleri ve geri aktivasyon enerjisi aynı miktarda azalır.

yargılarından hangileri doğru olur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

D) I ve II E) I ve III

2013 LYS

53. Belirli bir sıcaklıkta $2NO(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2NOCl(g)$ tepkimesi için deneysel veriler tablodaki gibidir.

Deney No	Başlangıç Derişimi (mol/L)		Başlangıç Hızı (mol/L.s)
	NO	Cl_2	
1	0,10	0,15	$1,8.10^{-5}$
2	0,05	0,30	$3,6.10^{-5}$
3	0,10	0,30	$7,2.10^{-5}$

Bu tepkimeyle ilgili aşağıdakilerden hangisi doğrudur?

A) Tepkime hızı = $k[NO]^2[Cl_2]$ dir.

B) Hız sabiti; $k = 8,0x10^{-3}\ \frac{L^2}{mol^2.s}$ dir.

C) Tepkimenin toplam derecesi dörttür.

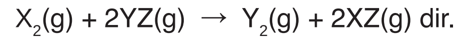
D) NO'ya göre tepkimenin derecesi sıfırdır.

E) NO ve Cl_2'nin derişimleri 1 mol/L alındığında tepkimenin başlangıç hızı $1,8x10^{-5}$ mol/L.s olur.

2011 LYS

54. X_2 ve YZ gazları arasındaki tepkime ekzotermik ve mekanizması aşağıdaki gibidir.

1. $X_2(g) + YZ(g) \rightarrow XY(g) + XZ(g)$ (yavaş)
2. $XY(g) + YZ(g) \rightarrow Y_2(g) + XZ(g)$ (hızlı)



Buna göre, X_2 ve YZ gazları arasındaki tepkime ile ilgili,

I. Net tepkime denklemi

$X_2(g) + 2YZ(g) \rightarrow Y_2(g) + 2XZ(g)$ dir.

II. Hız bağıntısı TH = k[XY][YZ] dir.

III. XY ara üründür.

IV. 1. tepkimenin aktivasyon enerjisi, 2. tepkimeninkinden büyüktür.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

D) I, II ve III E) I, III ve IV

55. I. Tepkime entalpisi (ΔH)

II. Aktivasyon enerjisi

III. Tepkime hız sabiti

IV. Tepkimenin yönü

Yukarıda verilen ifadelerden hangisine katalizör etki eder?

A) Yalnız I B) I ve II C) II ve IV

D) II ve III E) I, III ve IV

56. Reaksiyon hız sabiti (k) aşağıdakilerden hangisine bağlı <u>değildir</u>?

A) Sıcaklık B) Temas yüzeyi C) Katalizör

D) Tepkime türü E) Derişim

6 ÜNİTE

KİMYASAL TEPKİMELERDE DENGE

ÜNİTE BÖLÜMLERİ

6.1. KİMYASAL TEPKİMELERDE DENGE

6.2. DENGEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

6.3. SULU ÇÖZELTİ DENGELERİ

ANAHTAR KAVRAMLAR

- Asit-baz çifti
- Asitlik/bazlık sabiti
- Brönsted-Lowry asidi/bazı
- Çökelme tepkimesi
- Çözünürlük çarpımı
- Denge sabiti
- Eşdeğerlik noktası
- İndikatör
- Kimyasal denge
- Kuvvetli asit/baz
- Le Chatelier İlkesi
- Oto-iyonizasyon
- pH/pOH
- Tampon çözelti
- Titrasyon
- Zayıf asit/baz

İÇERİK

- Fiziksel ve kimyasal değişimlerde denge
- Dengeyi etkileyen faktörler
- pH ve pOH Kavramları
- Brönsted-Lowry asit/bazı
- Katyonların asitliği ve anyonların bazlığı
- Asitlik/bazlık gücü ile ayrışma denge sabitleri
- Kuvvetli ve zayıf asit/baz çözeltilerinde pH
- Tampon çözeltiler
- Tuz çözeltilerinde asitlik/bazlık
- Kuvvetli asit/bazların titrasyonu
- Sulu ortamlarda çözünme-çökelme dengeleri

1. BÖLÜM KİMYASAL DENGE

- *Kimyasal tepkimelerin çoğu neden çift yönlü (tersinir) tepkimelerdir?*
- *Bir tepkimede denge kurulabilmesi için hangi şartlar gereklidir?*
- *Günlük yaşamda kurulan kimyasal dengeye örnek ne verilebilir?*

Kimyasal denge, ileri ve geri yöndeki tepkime hızlarının birbirine eşit olduğu, ürün ve tepken (giren) derişimlerinin zamanla değişmediği durumu ifade eder. Bu dinamik denge hâli denge sabiti ile gösterilir. Denge sabiti, tersinir bir tepkimenin net yönü ve denge derişimleri hakkında bilgi verir.

Yıldırım düşmesi sırasında atmosferde $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$ tepkimesi gerçekleşir (Görsel 6.1). Bu tersinir tepkimede belirgin ölçüde bir ileri tepkime gerçekleşmese de yıldırım düşmesi sırasında oluşan yüksek sıcaklık, ileri tepkimenin gerçekleşmesini sağlar.

Görsel 6.1: *Yıldırım düşmesi*

Hâl değişiklerini içeren fiziksel değişmeler tersinir (geri dönüşümlü) olmalarına karşın kimyasal değişmelerin sadece bir kısmı tersinir olma özelliği gösterir. Örneğin yumurtanın pişmesi tersinmez yani geri dönüşümsüzdür. Buz dağındaki buz kütlesi sıcakta azalır, soğukta ise artar. Buradaki durum fiziksel hâl değişimi olup tersinir özelliktedir.

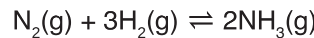
Zayıf asit ve bazların iyonlaşması denge tepkimeleri ile gerçekleşir. Dibinde katısı olan doymuş bir çözeltide çözünme ve çökelme olayları denge hâlindedir. Bu ünitede denge tepkimeleri, dengeye etki eden faktörler ve sulu çözelti dengeleri öğrenilecektir.

6.1.1. Fiziksel ve Kimyasal Değişimlerde Denge

Birbirlerine etki eden maddeler karıştırıldığında iki tür tepkime gözlenir. Bu tepkimelerden birincisinde, giren maddelerden herhangi biri tükenince tepkime sonlanır. Bu tür tepkimelere **tersinmez (tek yönlü) tepkimeler** denir, tek yönlü ok işareti (→) ile gösterilir. Tepkimede zamanla girenlerin derişimi azalırken ürünlerin derişimi artar. Buna bağlı olarak da zamanla tepkimenin hızı azalır ve girenlerden herhangi biri tükenince hız sıfır olur. Örneğin HCl ve KOH çözeltileri karıştırılırsa

$HCl(suda) + KOH(suda) \rightarrow KCl(suda) + H_2O(s)$ tepkimesine göre tepken tükenince tepkime sonlanır.

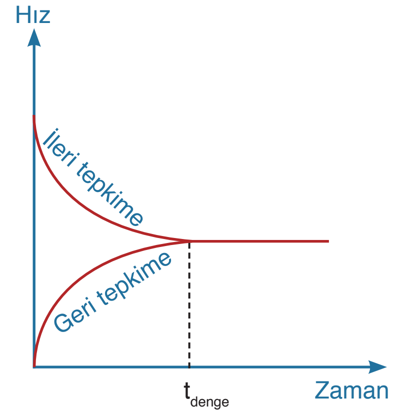
İkinci tür tepkimelerde, girenler tamamen tükenmez. Ortamda ürünlerle birlikte tepkimeye giren türlerin hepsinden bulunur. Böyle tepkimelere **tersinir (çift yönlü) tepkimeler** denir. Tersinir tepkimeler çift yönlü ok işareti (⇌) ile gösterilir. Örneğin kapalı bir kapta N_2 ve H_2 gazları uygun şartlarda NH_3 gazına dönüşür.



$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$$

Bir süre sonra oluşan NH_3 gazı ayrışarak N_2 ve H_2 gazlarına dönüşür. Yani tepkime her iki yönde gerçekleşir ve çift yönlü ok işareti ile ifade edilir.

Ürünler veya tepkimeye girenler, tepkime karışımının bulunduğu ortamdan çıkamadığı sürece tepkime her iki yönde tam olarak gerçekleşemez. Bu nedenle girenlerin tamamen ürünlere veya ürünlerin tamamen girenlere dönüşmesi mümkün değildir. Tersinir tepkimeler başlangıçta yalnızca ürünler yönünde yürür. Ürünler oluştukça geri yönde de bir tepkime başlar ve yeniden tepkenler oluşur. İlk anlarda bu geri tepkimenin hızı az olmakla birlikte ürünlerin derişimi arttıkça geri tepkimenin de hızı artar. Bir süre sonra ileri ve geri tepkimelerin hızları eşit hâle gelir. İşte bu anda kimyasal denge kurulur (Grafik 6.1).



Grafik 6.1: Denge tepkimelerinde hız değişimi

Doğadaki olayların kendiliğinden oluşabilmesi için sistemlerin

- Düzensizliklerini arttıracak
- Enerjilerini azaltacak

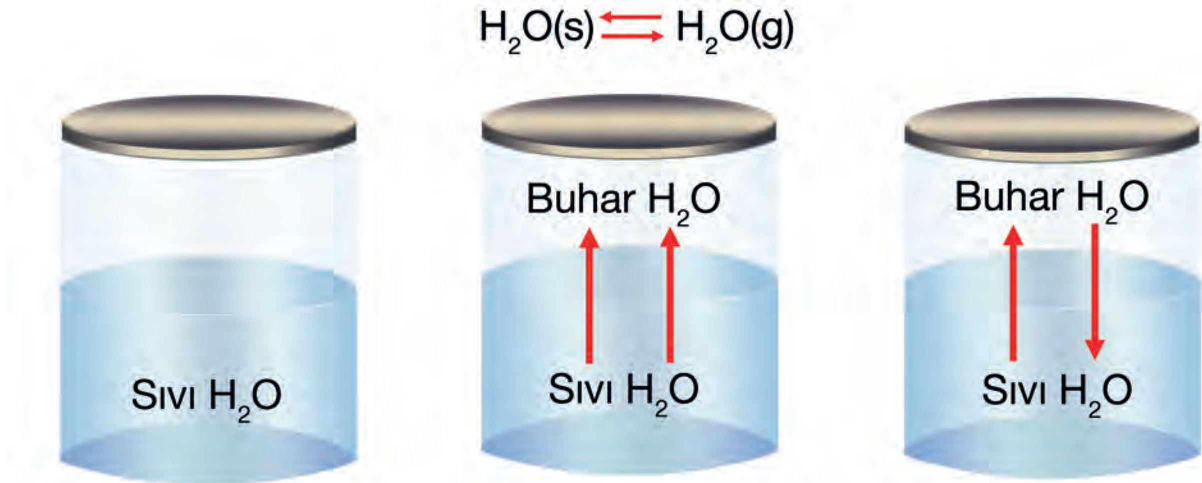
yönde değişime uğramaları gerekir. Bu iki faktör zıt yönde ise denge kurulur, aynı yönde ise dengeden söz edilemez.

Kimyasal denge dinamik bir süreçtir. Çünkü tepkenlerden ürünlerin oluşma hızı ile ürünlerden tepkenlerin oluşma hızı birbirine eşit olarak devam eder. Diğer bir deyişle denge tepkimesinde ileri ve geri tepkimeler devam ettiğinden ürün ve tepken miktarlarında bir değişme olmaz. Dinamik denge, bir kayak merkezinde tepeye taşınan kayakçı sayısı ile tepeden aşağı kayan kayakçı sayısının eşit olduğu duruma benzetilebilir. Yukarı taşıma ve aşağı kayma devam ettiği için aşağıdaki ve tepedeki kayakçı sayısı değişmez.

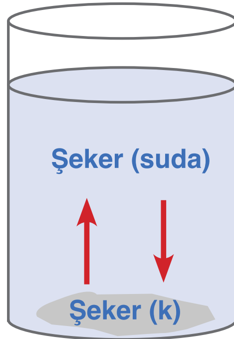
Fiziksel Denge

Maddelerin iç yapıları değişmeden sadece fiziksel hâlleri arasında ve belirli şartlarda kurulan dengeye **fiziksel denge** denir. Hâl değişimlerindeki dengeler ve çözünürlük dengeleri fiziksel dengelerdir.

Örneğin kapalı bir kapta belirli bir sıcaklıkta su buhar dengesi kurulur (Görsel 6.2). Denge anında sıvı fazı terk eden $H_2O(s)$ molekülleri ile sıvı faza geri dönen $H_2O(g)$ molekülleri sayısı eşit miktardadır.



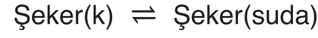
Görsel 6.2: *Kapalı kaplardaki su ve buharı arasındaki fiziksel denge oluşumu*



Görsel 6.3: *Katısı ile dengede şeker çözeltisi*

Aynı şekilde belirli bir sıcaklıkta, dibinde katısı olan doymuş çözeltilerde de dipteki katı ile çözünen madde arasında çözünme-çökelme dengesi kurulur.

Örneğin dibinde katısı olan doymuş şeker çözeltisinde katı şeker ile çözünmüş şeker molekülleri arasında fiziksel denge kurulur (Görsel 6.3). Denge anında şeker moleküllerinin çözünme hızı ile çökme hızı eşit olur. Dengede çözünmüş şeker derişimi ile dipteki katı kütlesi değişmez.


Şeker(k) ⇌ Şeker(suda)

Kimyasal Denge

Denge durumu sadece fiziksel olaylarla sınırlı değildir. Kimyasal olaylarda da denge kurulabilir. İleri ve geri yöndeki tepkime hızlarının eşit olduğu ve derişimlerin sabit kaldığı anda kurulan dengeye **kimyasal denge** denir.

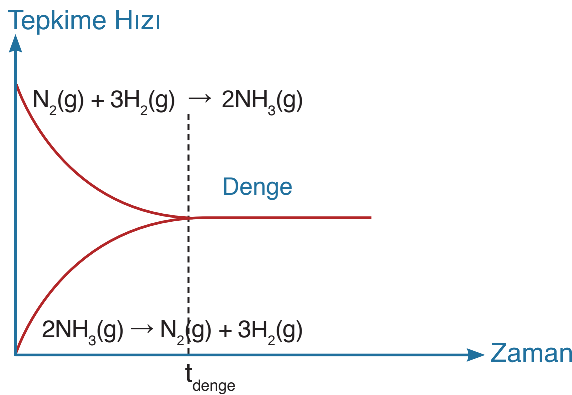
Örneğin kapalı bir kaba konulan N_2 ve H_2 gazlarının tepkimesiyle NH_3 gazı oluşur. Oluşan NH_3 gazının bir kısmı tekrar N_2 ve H_2 gazlarına ayrışır. Tepkimenin ileri yöndeki hızı ile geri yöndeki hızı eşitlendiğinde kimyasal denge kurulur. Bu dengenin tepkime denklemi

$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ şeklinde yazılır.

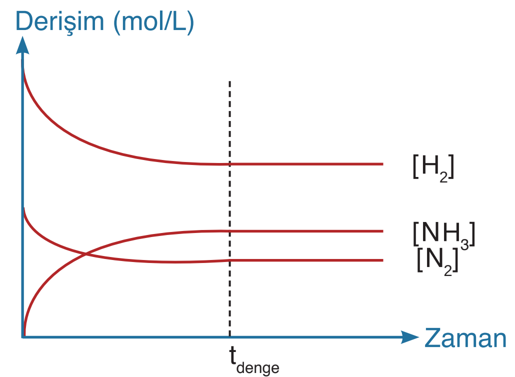
Başlangıçta tepkime kabına sadece N_2 ve H_2 gazları eklenir. N_2 ve H_2 molekülleri çarpışarak NH_3 gazını oluşturmak üzere tepkime verir. Gaz hâldeki NH_3 molekülleri birbirleriyle çarpışır. Bu moleküllerden geri aktifleşme enerjisini aşabilenler tekrar N_2 ve H_2 moleküllerini oluşturur. İleri tepkimenin hızı geri tepkimenin hızına eşit olduğu anda denge kurulur (Grafik 6.2). Denge hâlindeyken N_2 ve H_2 moleküllerinin NH_3 moleküllerini oluşturma hızı, NH_3 moleküllerinin N_2 ve H_2 moleküllerini oluşturma hızına eşittir. Denge hâlinde tepkimenin oluştuğu kaptaki N_2, H_2 ve NH_3 molekülleri tepkime ortamında hiçbir zaman tükenmez. N_2, H_2 ve NH_3 moleküllerinin denge derişimleri değişmez (Grafik 6.3).

Bilgi Kutusu

- *Denge durumu girenlerin ve ürünlerin derişimlerinin eşit olduğu anlamına gelmez.*
- *Denge tepkimeleri tam verimli tepkimeler değildir.*



Grafik 6.2: *İleri ve geri tepkime hızlarının eşit olmasıyla kurulan denge.*



Grafik 6.3: *Denge tepkimesinde derişimlerin zamanla değişimi*

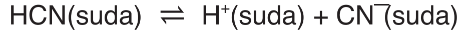
Kimyasal tepkimelerde denge anında

- İleri ve geri tepkime hızları eşitlenir.
- Derişimler; basınç, sıcaklık gibi koşullar değişmediği sürece sabit kalır.
- Gözlenebilen olaylar sabit kalır.
- Gözlenemeyen olaylar devam eder.
- Minimum enerji eğilimi ile maksimum düzensizlik eğilimi uzlaşır.
- Denge, tepkime mekanizmasına bağlı olmayan dinamik bir olaydır.

Kimyasal tepkimelerde yer alan maddelerin aynı ya da farklı fazlarda olmasına göre denge homojen veya heterojen olarak ikiye ayrılır.

Homojen denge: Tepkimeye giren maddelerle ürünlerin aynı fazda bulunduğu denge tepkimeleridir.

$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ tepkimesinde tepkimeye girenler ve ürünler aynı fiziksel hâlde olduğundan kurulan denge homojen dengedir.


$HCN(suda) \rightleftharpoons H^+(suda) + CN^-(suda)$

$2Fe^{2+}(suda) + Sn^{4+}(suda) \rightleftharpoons 2Fe^{3+}(suda) + Sn^{2+}(suda)$ tepkimeleri de çözelti ortamında aynı fazda kurulan denge tepkimeleri olduğundan homojen dengedir.

Heterojen denge: Tepkimeye giren maddeler ile ürünlerden en az birinin farklı fiziksel hâlde bulunduğu tepkimelerde kurulan denge heterojen dengedir.

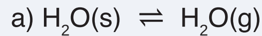
$CaCO_3(k) \rightleftharpoons CaO(k) + CO_2(g)$ tepkimesinde tepkimeye girenler ile ürünler farklı fiziksel hâllerde olduğundan denge heterojendir.

$Zn^{2+}(suda) + Cu(k) \rightleftharpoons Zn(k) + Cu^{2+}(suda)$

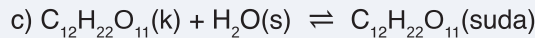
$SnO_2(k) + 2CO(g) \rightleftharpoons Sn(k) + 2CO_2(g)$ tepkimelerinde de tepkimeye girenler ile ürünler farklı fiziksel hâldedir ve bunlar heterojen denge tepkimeleridir.

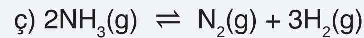
Örnek

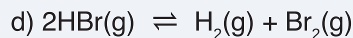
Aşağıda verilen denge tepkimelerinden hangileri hem heterojen hem de kimyasal dengeye örnek olarak verilebilir?

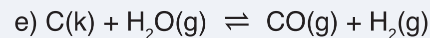

a) $H_2O(s) \rightleftharpoons H_2O(g)$

b) $K_2SO_4(suda) \rightleftharpoons 2K^+(suda) + SO_4^{2-}(suda)$


c) $C_{12}H_{22}O_{11}(k) + H_2O(s) \rightleftharpoons C_{12}H_{22}O_{11}(suda)$


ç) $2NH_3(g) \rightleftharpoons N_2(g) + 3H_2(g)$


d) $2HBr(g) \rightleftharpoons H_2(g) + Br_2(g)$


e) $C(k) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2(g)$

f) $2S(k) + 2O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_2(g)$

Çözüm

e ve f maddesinde verilen denge tepkimeleri hem heterojen hem de kimyasal denge tepkimeleridir.

a) Dengede Maksimum Düzensizlik ve Minimum Enerji Eğilimi

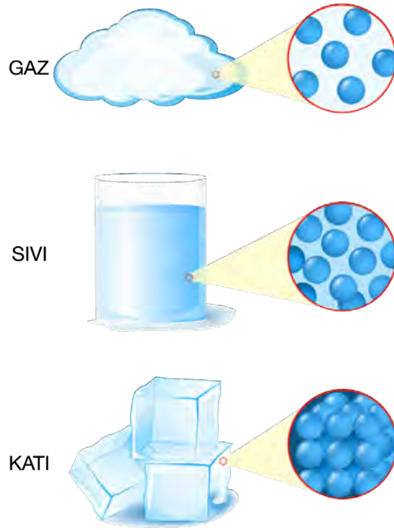
Kimyasal ve fiziksel olaylar belli bir süreden sonra neden dengeye ulaşır? Denge olayı, enerji ve düzensizlik eğilimi açısından iki temel faktöre bağlıdır:

- Bir sistem minimum enerjili hâle sahip olmak ister.
- Bir sistem maksimum düzensiz durumda olmak ister.

Minimum enerji kavramı, maddenin düşük enerjili olma isteğidir. Bir sistemde var olan potansiyel enerji ne kadar az ise minimum enerjiye o kadar yaklaşır. Örneğin buzun potansiyel enerjisi aynı miktardaki su ve buharın potansiyel enerjisinden azdır.

Kimyasal tepkimelerde, enerji tepkimenin hangi tarafında az ise minimum enerji o taraf lehinedir. Endotermik tepkimelerde minimum enerji girenler lehinedir. Ekzotermik tepkimelerde ise minimum enerji ürünler lehinedir.

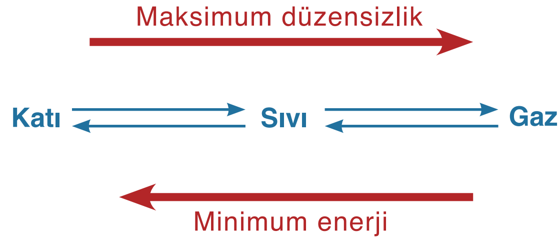
Maksimum düzensizlik isteği ise maddenin dağınık olma isteğidir. Maksimum düzensizlik eğilimi maddenin daha küçük birimlere bölünme isteğinden kaynaklanır.



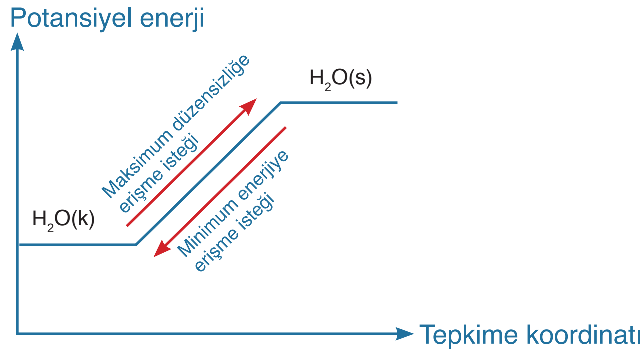
Görsel 6.4: *Suyun fiziksel hâllerinde enerji ve düzensizlik değişimi*

$C_{12}H_{22}O_{11}(k) + H_2O(s) \rightleftharpoons C_{12}H_{22}O_{11}(suda)$ tepkimesinde katı şeker molekülleri suda çözündüğünde şeker moleküllerinin düzensizliği artar.

Saf bir maddenin hâl değişimlerinde maksimum düzensizlik ve minimum enerji değişimi aşağıdaki gibidir.

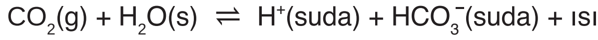


Buzun erimesinde düzensizlik ve enerji değişimi incelendiğinde buz, katı hâlden sıvı hâle geçerken ısı alarak enerjisini arttırır. Sıvı suyun enerjisi buzdan daha büyüktür. Bu durumda buz minimum enerjiye sahiptir. Su, katı hâlden sıvı hâle geçerken moleküller arası tutunma kuvvetleri zayıflar. Su molekülleri sıvı hâlde daha düzensiz ve daha serbest hareket etmeye başlar. Sıvı hâldeki su molekülleri buza göre maksimum düzensizliğe daha yakındır (Görsel 6.4 ve Grafik 6.4).



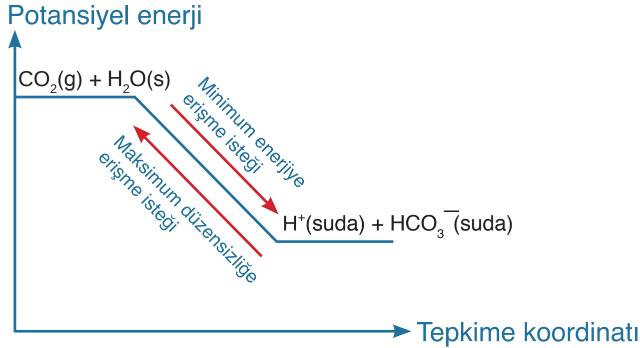
Grafik 6.4: *Buz ve suda maksimum düzensizlik ve minimum enerji eğilimi*

Gazların sıvılardaki çözünürlüğüne en güzel örnek, CO_2 gazının suda çözünmesidir. Kola, gazoz gibi gazlı içeceklerde suda çözünmüş CO_2 gazı vardır. CO_2 gazının suda iyonlaşarak çözünür ve çözünme denge tepkimesidir.



$$CO_2(g) + H_2O(s) \rightleftharpoons H^+(suda) + HCO_3^-(suda) + ısı$$

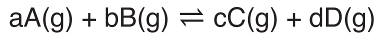
Tepkimesinde maksimum düzensizlik, girenler; minimum enerji ise ürünler lehinedir. Maksimum düzensizlik ve minimum enerji zıt yönlü olduğundan denge kurulmuştur (Grafik 6.5).



Grafik 6.5: *CO_2 gazının suda çözünme grafiği*

b) İleri ve Geri Tepkime Hızları Üzerinden Denge Bağıntısı

Dengeye ulaşan sistemlerde ileri tepkime hızı ile geri tepkime hızı birbirine eşit olur. Buna göre



$$aA(g) + bB(g) \rightleftharpoons cC(g) + dD(g)$$

tepkimesinde ileri tepkimenin hızı r_i, geri tepkimenin hızı r_g ile gösterilirse

ileri tepkime hızı $r_i = k_i [A]^a [B]^b$

geri tepkime hızı $r_g = k_g [C]^c [D]^d$ şeklinde yazılır.

Sistem dengeye ulaştığında ileri tepkime hızı geri tepkime hızına eşit ($r_i = r_g$) olacağından

$k_i [A]^a [B]^b = k_g [C]^c [D]^d$ eşitliği yazılabilir.

Sabit sıcaklıkta ileri tepkimenin hız sabiti (k_i) ve geri tepkimenin hız sabiti (k_g) ile gösterilir. k_i ve k_g sabit olduğundan $\frac{k_i}{k_g}$ oranı da sabit olur.

$\frac{k_i}{k_g}$ sabit oranına **denge sabiti** denir ve K_{denge} şeklinde gösterilir.

$$\frac{k_i}{k_g} = K_{denge} = K_C$$

Denge sabiti, ürünlerin ve girenlerin derişimleri cinsinden yazılıyorsa K_c veya K_d ile gösterilir. Bu durumda denge sabiti bağıntısı

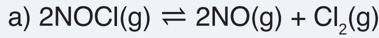
$$K_c = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$ şeklindedir.

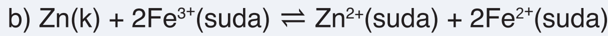
Denge bağıntısı yazılırken

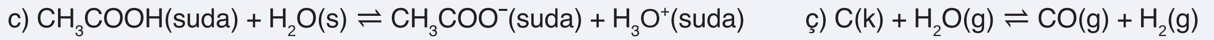
- Derişimler cinsinden denge bağıntısı (K_c); ürünlerin denge derişimleri çarpımının, girenlerin denge derişimleri çarpımına oranıdır.
- Denge bağıntısına gaz veya çözelti hâlde olan maddelerin derişimleri alınır.
- Saf katı ve sıvılar, derişimleri değişmediği için denge bağıntısına yazılmaz.
- Denge tepkimesinde yer alan maddelerin katsayıları denge bağıntısındaki molar derişimlere üs olarak yazılır.
- Denge sabiti sadece sıcaklıkla değişir.
- Denge sabitinin birimi her tepkime için farklı olacağından denge sabitinin birimi yerine sayısal değeri alınır.
- Mekanizmalı tepkimelerde denge bağıntısı net tepkimeye göre yazılır.

Örnek

Aşağıda verilen denge tepkimelerinin derişimler cinsinden denge bağıntısını yazınız.


a) $2NOCl(g) \rightleftharpoons 2NO(g) + Cl_2(g)$


b) $Zn(k) + 2Fe^{3+}(suda) \rightleftharpoons Zn^{2+}(suda) + 2Fe^{2+}(suda)$


c) $CH_3COOH(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons CH_3COO^-(suda) + H_3O^+(suda)$ ç) $C(k) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2(g)$

Çözüm

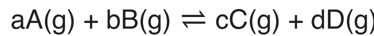
a) $K_c = \dfrac{[NO]^2\,[Cl_2]}{[NOCl]^2}$ b) $K_c = \dfrac{[Zn^{2+}]\,[Fe^{2+}]^2}{[Fe^{3+}]^2}$

c) $K_c = \dfrac{[CH_3COO^-]\,[H_3O^+]}{[CH_3COOH]}$ ç) $K_c = \dfrac{[CO]\,[H_2]}{[H_2O]}$

c) Derişim ve Basınç Cinsinden Denge Sabiti

Daha önce derişimler cinsinden denge sabiti K_c ile ifade edilmişti. Gaz fazında gerçekleşen ya da bileşiminde gaz fazında madde bulunan denge tepkimelerinde kimyasal denge, kısmi basınçlar cinsinden de ifade edilebilir.

Sabit sıcaklıkta kapalı bir kapta gerçekleşen


$aA(g) + bB(g) \rightleftharpoons cC(g) + dD(g)$

tepkimesinin kısmi basınçlar cinsinden denge sabiti "K_p" ile ifade edilir.

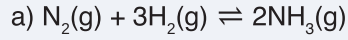
Derişimler cinsinden denge bağıntısı $K_c = \dfrac{[C]^c\,[D]^d}{[A]^a\,[B]^b}$ idi,

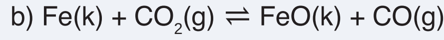
Kısmi basınçlar cinsinden denge bağıntısı ise $K_p = \dfrac{P_C^c\,P_D^d}{P_A^a\,P_B^b}$

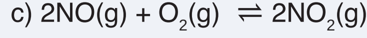
şeklinde ifade edilir.

Örnek

Aşağıda verilen denge tepkimelerinin derişimler ve kısmi basınçlar cinsinden denge bağıntısını yazınız.


a) $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$


b) $Fe(k) + CO_2(g) \rightleftharpoons FeO(k) + CO(g)$


c) $2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

Çözüm

a) $K_c = \dfrac{[NH_3]^2}{[N_2]\,[H_2]^3}$ $\qquad K_P = \dfrac{P^2_{NH_3}}{P_{N_2}\,P^3_{H_2}}$

b) $K_c = \dfrac{[CO]}{[CO_2]}$ $\qquad K_P = \dfrac{P_{CO}}{P_{CO_2}}$

c) $K_c = \dfrac{[NO_2]^2}{[NO]^2\,[O_2]}$ $\qquad K_P = \dfrac{P^2_{NO_2}}{P^2_{NO}\,P_{O_2}}$

Örnek

Sabit sıcaklıkta 2 litrelik kapalı bir kapta $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ tepkimesi dengeye ulaştığında kapta 1 mol N_2, 0,4 mol H_2 ve 0,8 mol NH_3 gazları bulunmaktadır. Buna göre tepkimenin derişimlere bağlı denge sabiti kaçtır?

Çözüm

Dengede molar derişimler $M = \dfrac{n}{V}$ eşitliğinden hesaplanır.

$[N_2] = \dfrac{1}{2} = 0{,}5\ M$ $\qquad [H_2] = \dfrac{0{,}4}{2} = 0{,}2\ M$ $\qquad [NH_3] = \dfrac{0{,}8}{2} = 0{,}4\ M$

$K_c = \dfrac{[NH_3]^2}{[N_2]\,[H_2]^3}$ $\qquad K_c = \dfrac{[0{,}4]^2}{[0{,}5].[0{,}2]^3}$ $\qquad K_c = \dfrac{0{,}4.0{,}4}{0{,}5.0{,}2.0{,}2.0{,}2} = 40\ M^{-2}$

Örnek

$2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$ denge tepkimesine göre 1 litrelik kapta sabit sıcaklıkta 3 mol NO_2 ile x mol N_2O_4 dengededir. Aynı sıcaklıkta $K_c = 0{,}4$ olduğuna göre dengedeki N_2O_4 kaç mol'dür?

Çözüm

Dengede $[NO_2] = \dfrac{3}{1} = 3\ M$ $\qquad [N_2O_4] = \dfrac{x}{1} = x\ M$

$K_c = \dfrac{[N_2O_4]}{[NO_2]^2}$ $\qquad 0{,}4 = \dfrac{x}{3^2}$ $\qquad x = 3{,}6$ mol olur.

Örnek

t °C sıcaklıkta 0,5 litrelik kapalı bir kapta $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$ tepkimesi 2 mol SO_2 ve 3 mol O_2 gazları ile başlamaktadır. Sistem aynı sıcaklıkta dengeye ulaştığında kapta 1 mol SO_3 gazı bulunduğuna göre tepkimenin derişimlere bağlı denge sabiti kaçtır?

Çözüm

	$2SO_2(g)$	+ $O_2(g)$	$\rightleftharpoons$ $2SO_3(g)$
Başlangıçta	: 2 mol	3 mol	----
Değişim	: -1 mol	-0,5 mol	+1 mol
Denge	: 1 mol	2,5 mol	1 mol

Denge derişimleri: $\frac{1}{0,5} = 2$ M $\frac{2,5}{0,5} = 5$ M $\frac{1}{0,5} = 2$ M

$$K_c = \frac{[SO_3]^2}{[SO_2]^2\,[O_2]} = \frac{2^2}{2^2.5} = \frac{1}{5} = 0,2\ \frac{1}{M}$$

Örnek

Sabit sıcaklıkta kapalı bir kapta $A(g) + 3B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$ tepkimesi, 3 mol A ve 2 mol B gazları ile başlamaktadır. Sistem dengeye ulaştığında kapta bulunan toplam 4 mol gazın basıncı 2 atm olmaktadır. Buna göre kısmi basınçlara bağlı denge sabiti kaçtır?

Çözüm

	$A(g)$	+ $3B(g)$	$\rightleftharpoons$ $2C(g)$
Başlangıçta	: 3 mol	2 mol	----
Değişim	: -n mol	-3n mol	+2n mol
Denge	: (3-n) mol	(2-3n) mol	2n mol

Sistem dengeye ulaştığında kaptaki toplam mol sayısı 4 mol olduğuna göre

$3\text{-}n + 2\text{-}3n + 2n = 4 \Rightarrow 5\text{-}2n = 4 \Rightarrow n = 0,5$ mol

Dengedeki gazların mol sayıları: $n_A = 2,5$ mol, $n_B = 0,5$ mol, $n_C = 1$ mol, $n_T = 4$ mol

Aynı sıcaklık ve hacimdeki gazların mol sayıları ile kısmi basınçlar orantılıdır. Buna göre gazların dengede kısmi basınçları

$$\frac{P_T}{n_T} = \frac{P_A}{n_A} = \frac{P_B}{n_B} = \frac{P_C}{n_C}$$

$P_A = 1,25$ atm, $P_B = 0,25$ atm, $P_C = 0,5$ atm

$$K_P = \frac{P_C^2}{P_A\,P_B^3} \Rightarrow K_P = \frac{(0,5)^2}{1,25.(0,25)^3} = 12,8\,\frac{1}{atm^2}$$ olur.

Örnek

$CO_2(g) + H_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2O(g)$ Tepkimesi için belli bir sıcaklıkta denge sabiti K_c = 4'tür.
4 litrelik bir kaba 2,4 mol CO_2 konularak başlatılan tepkimede CO gazının denge derişiminin 0,2 M olması için başlangıçta kaba kaç mol H_2 gazı konulmalıdır?

Çözüm

Dengede CO gazı için $0{,}2\ M = \frac{n}{4\ L} \Rightarrow n = 0{,}8$ mol

	$CO_2(g)$	+	$H_2(g)$	$\rightleftharpoons$	$CO(g)$	+	$H_2O(g)$
Başlangıçta	: 2,4 mol		n		----		----
Değişim	: -0,8 mol		-0,8 mol		+0,8 mol		+0,8 mol
Denge	: 1,6 mol		(n-0,8) mol		0,8 mol		0,8 mol
Denge derişimleri:	$\frac{1{,}6}{4} = 0{,}4$ M		$\frac{n-0{,}8}{4}$ M		$\frac{0{,}8}{4} = 0{,}2$ M		$\frac{0{,}8}{4} = 0{,}2$ M

$K_c = \frac{[CO]\,[H_2O]}{[CO_2]\,[H_2]}$ $\quad 4 = \frac{0{,}2.0{,}2}{0{,}4.\frac{n-0{,}8}{4}} \Rightarrow$ n= 0,9 mol

Örnek

$2CO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2CO_2(g)$ Tepkimesine göre 2 litrelik kaba 0,4 mol CO ve 0,3 mol O_2 gazı konuyor. CO gazının %50'si harcanınca tepkime dengeye ulaşıyor.

a) O_2 gazının denge derişimi kaç molardır?

b) Denge sabiti K_c=?

c) Denge sabitinin birimi nedir?

Çözüm

a)

	$2CO(g)$	+	$O_2(g)$	$\rightleftharpoons$	$2CO_2(g)$
Başlangıçta	: 0,4 mol		0,3 mol		----
Değişim	: -0,2 mol		-0,1 mol		+0,2 mol
Denge	: 0,2 mol		0,2 mol		0,2 mol
Denge derişimleri:	$\frac{0{,}2}{2} = 0{,}1$ M		$\frac{0{,}2}{2} = 0{,}1$ M		$\frac{0{,}2}{2} = 0{,}1$ M

Dengede O_2 gazının denge derişimi 0,1 M'dır.

b) $K_c = \frac{[CO_2]^2}{[CO]^2\,[O_2]}$ $\qquad K_c = \frac{0{,}1.0{,}1}{0{,}1.0{,}1.0{,}1} \Rightarrow K_c = 10$

c) $K_c = \frac{[CO_2]^2}{[CO]^2\,[O_2]}$ $\qquad K_c = \frac{(\frac{mol}{L})^2}{(\frac{mol}{L})^2.\frac{mol}{L}} = \frac{L}{mol}$

6.1. Alıştırma

$2SO_3(g) \rightleftharpoons 2SO_2(g) + O_2(g)$ denge tepkimesi için $K_c = \frac{1}{9}$' dur.
V litrelik bir kaba 1,2 mol SO_3 gazı konuluyor. SO_3 gazının %50'si harcandığında sistem dengeye ulaşıyor. Tepkime kabının hacmi kaç litredir?

6.2. Alıştırma

$2N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2N_2O(g)$
Sabit sıcaklıkta 2 litrelik bir kaba 12 mol N_2 ve 6 mol O_2 gazları konularak başlatılan tepkimede 8 mol N_2O gazı oluşunca dengeye ulaşılıyor. Tepkime tek basamakta gerçekleşiyor ve dengede ileri tepkime hızı 2 mol/L.s olduğuna göre

a) Derişimlere bağlı denge sabiti K_c kaçtır?

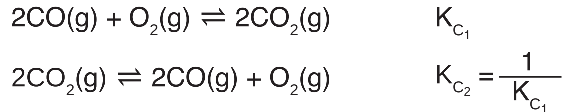
b) İleri tepkimenin hız sabiti (k_i) ve geri tepkimenin hız sabiti (k_g) kaçtır?

c) Başlangıçta tepkimenin hızı kaç mol/L.s'dir?

Denge tepkimesi ile denge sabiti arasındaki ilişki

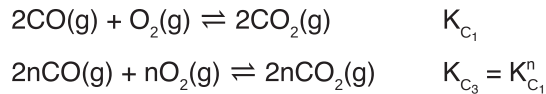
Dengedeki sistemlerde, tepkime denkleminin ters çevrilmesi veya denge tepkimesinin herhangi bir katsayı ile çarpılması denge sabitinin sayısal değerini değiştirir. Denge sabitini değiştiren bu etkenler aşağıda verilmiştir.

- Denge tepkimesi ters çevrilirse denge sabitinin çarpmaya göre tersi alınır.



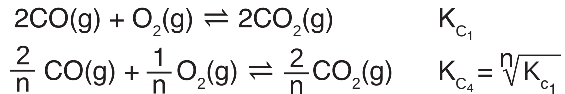
$$2CO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2CO_2(g) \qquad K_{C_1}$$
$$2CO_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g) + O_2(g) \qquad K_{C_2} = \frac{1}{K_{C_1}}$$

- Denge tepkimesinin katsayıları "n" katsayısı ile çarpılırsa bu tepkimenin denge sabiti, ilk tepkimenin denge sabitinin n. kuvvetine eşittir.



$$2CO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2CO_2(g) \qquad K_{C_1}$$
$$2nCO(g) + nO_2(g) \rightleftharpoons 2nCO_2(g) \qquad K_{C_3} = K^n_{C_1}$$

- Denge tepkimesinin katsayıları "n" sayısına bölünürse denge sabiti, ilk tepkimenin denge sabitinin n. dereceden köküne eşit olur.

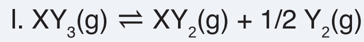


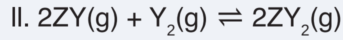
$$2CO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2CO_2(g) \qquad K_{C_1}$$
$$\frac{2}{n}CO(g) + \frac{1}{n}O_2(g) \rightleftharpoons \frac{2}{n}CO_2(g) \qquad K_{C_4} = \sqrt[n]{K_{C_1}}$$

- Tepkime denklemi birden çok kimyasal tepkimenin toplamı şeklinde yazılabiliyorsa toplam tepkimenin denge sabiti, toplanan tepkimelerin denge sabitlerinin çarpımına eşittir.

$$K_{Toplam} = K_{C_1} K_{C_2} ..... K_n$$

Örnek


I. $XY_3(g) \rightleftharpoons XY_2(g) + 1/2\ Y_2(g)$ $\quad K_{C_1} = \frac{1}{5}$


II. $2ZY(g) + Y_2(g) \rightleftharpoons 2ZY_2(g)$ $\quad K_{C_2} = 16$

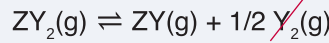
tepkimeleri bilindiğine göre

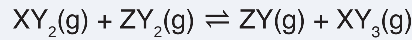
$XY_2(g) + ZY_2(g) \rightleftharpoons ZY(g) + XY_3(g)$ tepkimesinin denge sabiti kaçtır?

Çözüm

I. tepkime ters çevrilir.

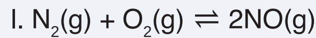
$XY_2(g) + 1/2\ Y_2(g) \rightleftharpoons XY_3(g)$ $\quad K'_{C_1} = 5$

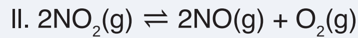
II. tepkime ters çevrilip 2'ye bölünür.

$ZY_2(g) \rightleftharpoons ZY(g) + 1/2\ Y_2(g)$ $\quad K'_{C_2} = \frac{1}{4}$

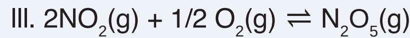

$XY_2(g) + ZY_2(g) \rightleftharpoons ZY(g) + XY_3(g)$

$K_{C_3} = K'_{C_1} K'_{C_2} = 5 . \frac{1}{4} = \frac{5}{4}$ olur.

Örnek


I. $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$ $\quad K_{C_1} = 4$

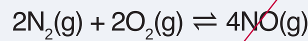

II. $2NO_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g) + O_2(g)$ $\quad K_{C_2} = 2$


III. $2NO_2(g) + 1/2\ O_2(g) \rightleftharpoons N_2O_5(g)$ $\quad K_{C_3} = \frac{1}{10}$

Yukarıda bazı tepkimeler ve denge sabitleri verilmiştir.

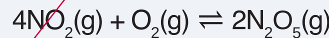
Aynı sıcaklıkta $2N_2(g) + 5O_2(g) \rightleftharpoons 2N_2O_5(g)$ tepkimesinin denge sabiti K_c kaçtır?

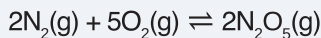
Çözüm

I. Tepkime 2 ile çarpılır.

$2N_2(g) + 2O_2(g) \rightleftharpoons 4NO(g)$ $\quad K'_{C_1} = 16$

II. Tepkime ters çevrilip 2 ile çarpılır.

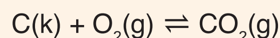
$4NO(g) + 2O_2(g) \rightleftharpoons 4NO_2(g)$ $\quad K'_{C_2} = \frac{1}{4}$

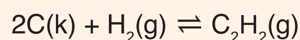
III. Tepkime 2 ile çarpılır.

$4NO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2N_2O_5(g)$ $\quad K'_{C_3} = \frac{1}{100}$

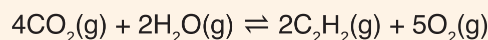

$2N_2(g) + 5O_2(g) \rightleftharpoons 2N_2O_5(g)$

$K_C = 16 \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{100} = \frac{1}{25}$ olur.

6.3. Alıştırma


$C(k) + O_2(g) \rightleftharpoons CO_2(g)$ $\quad K_{C_1} = 4$


$2C(k) + H_2(g) \rightleftharpoons C_2H_2(g)$ $\quad K_{C_2} = 12$


$4CO_2(g) + 2H_2O(g) \rightleftharpoons 2C_2H_2(g) + 5O_2(g)$ $\quad K_{C_3} = 25$

Tepkimelerinin t sıcaklığındaki denge sabitleri yukarıdaki gibidir. Buna göre aynı sıcaklıkta gerçekleşen $H_2(g) + 1/2\ O_2(g) \rightleftharpoons H_2O(g)$ tepkimesinin derişimlere bağlı denge sabiti kaçtır?

ç) K_c ile K_p Denge Sabitleri Arasındaki İlişki

Bir gazın, atmosfer biriminde kısmi basıncı (atm) ile molar derişimi aynı olmadığına göre bir tepkimenin K_p değeri, K_c değerine eşit olmak zorunda değildir. Ancak ideal davranış gösteren gazlar için iki sabit arasında bir bağıntı türetilir.

$$aA(g) + bB(g) \rightleftharpoons cC(g) + dD(g)$$

Tepkimesine göre ideal bir gaz olan A'nın molar derişimi, A'nın mol sayısının (n_A) hacmine (V, litre) bölümüdür.

$$[A] = \frac{n_A}{V}$$

İdeal gaz yasası kullanılarak n_A/V oranı A'nın kısmi basıncı ile ilişkilendirilir.

A gazının kısmi basıncı P_A olarak alınırsa

$P_AV = n_ART \Rightarrow P_A = \frac{n_ART}{V} = [A]\,R\,T$ eşitliği yazılabilir.

$$P_B = [B]\,R\,T \qquad P_C = [C]\,R\,T \qquad P_D = [D]\,R\,T$$

Bu değerler kısmi basınçlar cinsinde denge bağıntısında yerine konulursa

$$K_P = \frac{P_C^c\,P_D^d}{P_A^a\,P_B^b} = \frac{([C]\,R\,T)^c\,([D]\,R\,T)^d}{([A]\,R\,T)^a\,([B]\,R\,T)^b} = \frac{[C]^c\,[D]^d\,(R\,T)^{c+d}}{[A]^a\,[B]^b\,(R\,T)^{a+b}}$$

$K_p = K_c\,(R\,T)^{(c+d)-(a+b)}$ formülü yazılabilir. Bu formülde ürünlerin mol sayıları toplamı c+d, girenlerin mol sayıları toplamı ise a+b'dir. Buna göre gaz hâlindeki ürünlerin mol sayıları toplamı ile gaz hâlindeki girenlerin mol sayıları toplamının farkı

$$\Delta n = (c+d) - (a+b)$$

ile gösterilip son bağıntıdaki yerine yazılırsa Kp ile Kc arasında

$\mathbf{K_p = K_c\,(R\,T)^{\Delta n}}$ eşitliği yazılır.

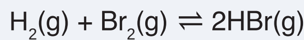
Bu bağıntıda R ideal gaz sabiti (0,0821 L.atm/K.mol), T mutlak sıcaklıktır.

Ürünlerdeki gaz bileşenlerinin mol sayısı, tepkenlerdeki gaz bileşenlerinin mol sayısına eşit ise $\Delta n = 0$ olur. Eşitlikte $\Delta n = 0$ ise $(R.T)^{\Delta n}$ = 1'e eşit olur. Bunun sonucunda $K_c = K_p$ olur.

Örnek

$H_2(g) + Br_2(g) \rightleftharpoons 2HBr(g)$ tepkimesinin 25 °C'de denge sabiti $K_c = 2.\,10^{19}$ dur. Aynı sıcaklıkta tepkimenin kısmi basınçlara bağlı denge sabiti (K_p) kaçtır?

Çözüm



$H_2(g) + Br_2(g) \rightleftharpoons 2HBr(g)$

$\Delta n = n_{ürünler} - n_{girenler} = 2\text{-}2 = 0 \qquad K_p = K_c\,(R\,T)^{\Delta n} \Rightarrow K_p = K_c\,(R\,T)^0 \Rightarrow K_p = K_c$ olur.

$K_p = 2.\,10^{19}$ dur.

Örnek

27 °C sıcaklıkta 0,6 mol NO_2 gazı 2 litrelik bir kapta $2NO_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g) + O_2(g)$ dengesini oluşturduğunda kapta 0,4 mol NO gazı bulunmaktadır. Buna göre tepkimenin aynı sıcaklıkta kısmi basınçlar türünden denge sabiti kaçtır?

Çözüm

	$2NO_2(g)$	$\rightleftharpoons$ $2NO(g)$	+ $O_2(g)$
Başlangıç	: 0,6 mol	----	----
Değişim	: -0,4 mol	+0,4 mol	+0,2 mol
Denge	: 0,2 mol	0,4 mol	0,2 mol

$[NO_2] = 0,2/2 = 0,1$ M $[NO] = 0,4/2 = 0,2$ M $[O_2] = 0,2/2 = 0,1$ M

$$K_c = \frac{[NO]^2\,[O_2]}{[NO_2]^2} = \frac{0,2^2.0,1}{0,1^2} = 0,4$$

T= 27 + 273 = 300 K $\Delta n=(2+1)-2 = 1$

$K_p = K_c\,(R\,T)^{\Delta n} \Rightarrow K_p= 0,4.(0,082.300)^1 \Rightarrow K_p= 9,84$

6.4. Alıştırma

$X(g) + 2Y(g) \rightleftharpoons 2Z(g)$ tepkimesi için $K_c= 44,8$ ve $K_p= 1$'dir.
Buna göre yukarıdaki tepkimenin denge sıcaklığı kaç °C'dir?

6.5. Alıştırma

$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$ tepkimesinde 273 °C'de 4 litrelik kapta 4 mol SO_2 ve 2 mol O_2 gazları ile başlayan tepkimede 2 mol SO_3 gazı oluştuğunda dengeye ulaşılıyor. Buna göre kısmi basınçlar cinsinden denge sabiti K_p kaçtır?

Denge Kesri

Kapalı bir sistemde gerçekleşen denge tepkimesinin herhangi bir andaki bileşenlerinin derişimleri tepkimenin dengede olup olmadığı hakkında bilgi verir.

Tepkimenin herhangi bir anında $\frac{[Ürünler]}{[Girenler]}$ oranı denge kesrini verir. Denge kesri Q_c ile gösterilir.

$A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons C(g)$ denge tepkimesi için

$Q_c = \frac{[C]}{[A]\,[B]^2}$ (Herhangi bir anda hesaplanan derişimler oranı)

$K_c = \frac{[C]}{[A]\,[B]^2}$ (Denge anında hesaplanan derişimler oranı)

- $Q_C < K_C$ ise tepkime dengede değildir. İleri tepkime hızı geri tepkime hızından büyüktür. Tepkime yeniden dengeye gelirken ürünler yönünde daha hızlı ilerler.

  $Q_C = K_C$ olunca tepkime dengeye gelir.
- $Q_C > K_C$ ise tepkime dengede değildir. Geri tepkime hızı ileri tepkime hızından büyüktür. Tepkime yeniden dengeye gelirken girenler yönünde daha hızlı ilerler.

  $Q_C = K_C$ olunca tepkime dengeye gelir.
- $Q_C = K_C$ ise tepkime dengededir. İleri ve geri tepkime hızları eşittir.

Örnek

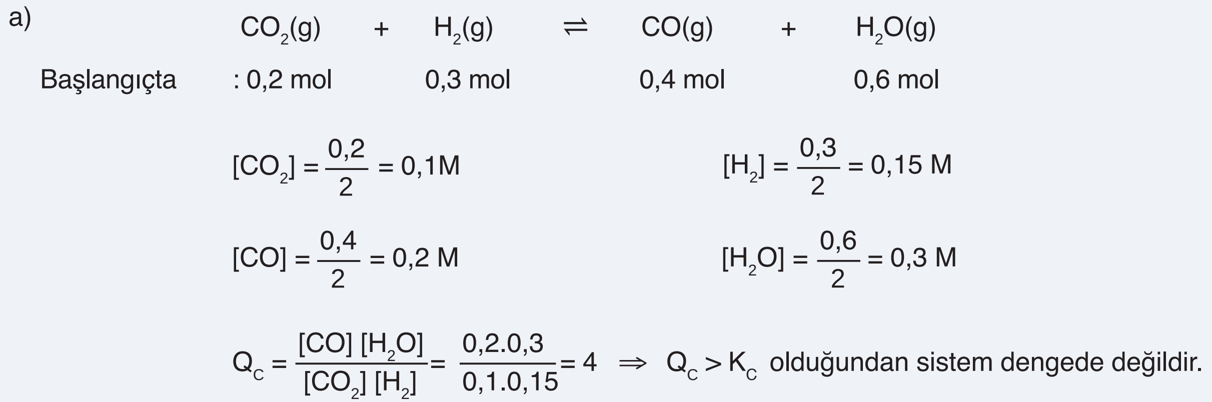
$CO_2(g) + H_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2O(g)$ tepkimesinin 25 °C'de denge sabiti $K_C = 1$'dir. Herhangi bir anda 2 litrelik bir kapta aynı sıcaklıkta 0,2 mol CO_2, 0,3 mol H_2, 0,4 mol CO ve 0,6 mol H_2O bulunmaktadır.

a) Tepkime dengede midir?

b) Dengedeki sistemde H_2 gazının mol sayısı kaç olur?

Çözüm

a)



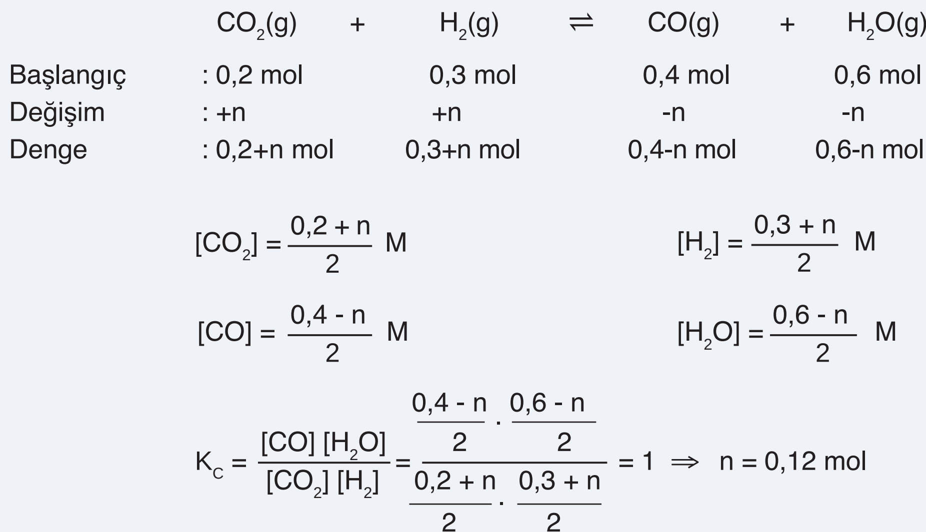
	$CO_2(g)$	+	$H_2(g)$	$\rightleftharpoons$	$CO(g)$	+	$H_2O(g)$
Başlangıçta	: 0,2 mol		0,3 mol		0,4 mol		0,6 mol

$[CO_2] = \frac{0,2}{2} = 0,1M$ $\quad [H_2] = \frac{0,3}{2} = 0,15\ M$

$[CO] = \frac{0,4}{2} = 0,2\ M$ $\quad [H_2O] = \frac{0,6}{2} = 0,3\ M$

$$Q_C = \frac{[CO]\,[H_2O]}{[CO_2]\,[H_2]} = \frac{0,2.0,3}{0,1.0,15} = 4 \Rightarrow Q_C > K_C \text{ olduğundan sistem dengede değildir.}$$

b) Sistemin dengeye gelmesi için Q_C küçülmelidir. Tepkime, girenler yönünde devam etmektedir.



	$CO_2(g)$	+	$H_2(g)$	$\rightleftharpoons$	$CO(g)$	+	$H_2O(g)$
Başlangıç	: 0,2 mol		0,3 mol		0,4 mol		0,6 mol
Değişim	: +n		+n		-n		-n
Denge	: 0,2+n mol		0,3+n mol		0,4-n mol		0,6-n mol

$[CO_2] = \frac{0,2 + n}{2}\ M$ $\quad [H_2] = \frac{0,3 + n}{2}\ M$

$[CO] = \frac{0,4 - n}{2}\ M$ $\quad [H_2O] = \frac{0,6 - n}{2}\ M$

$$K_C = \frac{[CO]\,[H_2O]}{[CO_2]\,[H_2]} = \frac{\frac{0,4 - n}{2} \cdot \frac{0,6 - n}{2}}{\frac{0,2 + n}{2} \cdot \frac{0,3 + n}{2}} = 1 \Rightarrow n = 0,12 \text{ mol}$$

Dengede H_2'nin mol sayısı 0,3 + n mol = 0,3 + 0,12 = 0,42 mol olur.

Örnek

$PCl_5(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons POCl_3(g) + 2HCl(g)$ tepkimesi için sabit sıcaklıkta K_c= 0,5'tir. Aynı sıcaklıkta 1 litrelik kapalı kapta gerçekleşen tepkimede kapta 0,6 mol PCl_5, 0,4 mol H_2O, 0,8 mol $POCl_3$ ve 0,3 mol HCl gazları bulunduğuna göre tepkime dengede midir? Tepkime dengede değilse hangi yönde ilerler?

Çözüm

$[PCl_5]$ = 0,6/1=0,6 M　　$[H_2O]$ = 0,4/1 = 0,4 M

$[POCl_3]$ = 0,8/1= 0,8 M　　[HCl] = 0,3/1 = 0,3 M

$$Q_C = \frac{[POCl_3]\,[HCl]^2}{[PCl_5]\,[H_2O]} = \frac{0,8.(0,3)^2}{0,6.0,4} = 0,3$$

$Q_C < K_C$ olduğuna göre sistem dengede değildir. Sistemin dengeye gelmesi için Q_C büyümeli, tepkime ileri yönde devam etmektedir.

Örnek

$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$ denge tepkimesinin 25 °C'de denge sabiti $K_c = 4.10^{-2}$ dir. 2 litrelik kaba 0,2 mol SO_2, 0,4 mol O_2 ve 4 mol SO_3 konuyor. Buna göre

a) Sistem dengede midir?

b) Dengede SO_3 gazının kısmi basıncı nasıl değişir?

Çözüm

a) $[SO_2] = \frac{0,2}{2} = 0,1$ M　　$[O_2] = \frac{0,4}{2} = 0,2$ M　　$[SO_3] = \frac{4}{2} = 2$ M

$$Q_c = \frac{[SO_3]^2}{[SO_2]^2\,[O_2]} \qquad Q_c = \frac{2^2}{(0,1)^2.0,2} = \frac{4}{0,002} = 2000$$

$Q_c > K_c$ olduğundan sistem dengede değildir.

b) $Q_c = K_c$ olması için denge girenler yönüne kayar. SO_3'in mol sayısı azaldığından kısmi basıncı azalır.

6.6. Alıştırma

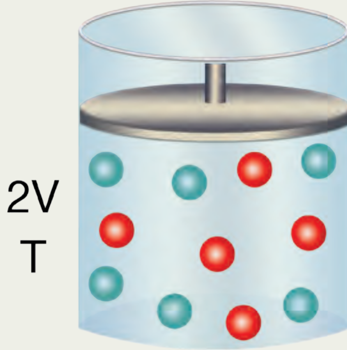
$I_2(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons 2ICl(g)$　K_p= 8,2 tepkimesinde aynı sıcaklıkta gazların kısmi basınçları P_{I_2}= 0,1 atm, P_{Cl_2} = 0,15 atm, P_{ICl} = 0,3 atm olduğu anda sistem dengede midir? Sistem dengede değilse hangi yönde devam etmektedir?

6.7. Alıştırma

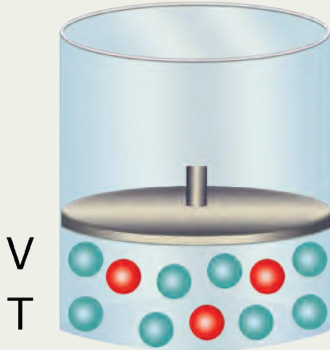
Belirli bir sıcaklıkta 1 litrelik kapalı bir kaba 2 mol AB_3 gazı konuluyor. $AB_3(g) \rightleftharpoons AB(g) + B_2(g)$ tepkimesine göre AB_3 gazının %60'ı ayrıştığında denge kuruluyor. Dengede toplam gaz basıncı 6,4 atm olduğuna göre denge sıcaklığında derişimlere bağlı denge sabiti (K_c) ve kısmi basınçlara bağlı denge sabiti (K_p) kaçtır?

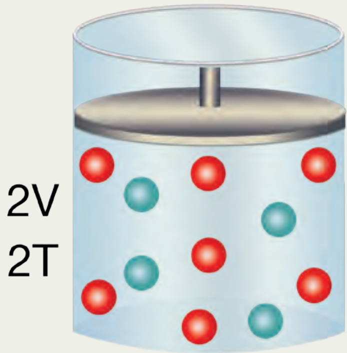
2. BÖLÜM

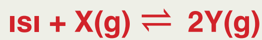
DENGEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER



Y X







ısı + X(g) ⇌ 2Y(g)

Görsel 6.5: *Dengede olan bir tepkimeye T ve P'nin Le Châtelier İlkesi'ne göre etkisi*

- *Dengedeki bir sisteme hangi faktörler etki eder?*
- *Bir tepkimenin dengede olup olmadığı nasıl anlaşılır?*
- *Bir tepkimeye giren ve ürün miktarının değişmesi dengeyi nasıl etkiler?*

6.2.1. Dengeyi Etkileyen Faktörler

Dengedeki bir sistemin ileri ve geri yöndeki hızlarının eşitliği bir dış etkenle bozulabilir. Yeni denge kuruluncaya kadar dengenin bozuluş biçimine bağlı olarak ileri ya da geri yöndeki tepkime hızı değişir. Denge, bozuluş biçimine göre ileri veya geri yöne kayar.

Sistemlerde dengeyi bozan etkenler

- Derişim
- Basınç
- Hacim
- Sıcaklık

Dengenin; derişim, basınç, hacim ya da sıcaklık değişimi ile hangi yöne kayacağını belirlemek için genel bir kural vardır. Bu kural adını Fransız kimyacı Henri Le Châtelier'den (Henri Lö Şatölye) alır ve Le Châtelier İlkesi olarak bilinir (Görsel 6.5).

Le Châtelier İlkesi: Dengedeki bir sisteme dışarıdan bir etki uygulandığında, sistemin, bu etkiyi karşılayacak yöne tepki vererek yeniden dengeye ulaştığını ifade eder.

Burada "etki" kelimesi sistemi denge hâlinden uzaklaştıran derişim, basınç, hacim ya da sıcaklıktaki değişimdir. Bu değişimlerin dengeye etkisini incelemek için Le Châtelier İlkesi kullanılır. Le Châtelier İlkesi hem kimyasal hem de fiziksel denge için geçerlidir.

a) Sıcaklığın, Derişimin, Hacmin ve Basıncın Dengeye Etkisi

Derişimin Dengeye Etkisi

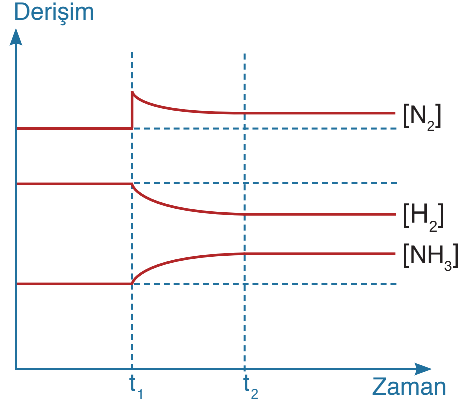
Kapalı bir kapta bulunan dengedeki bir sisteme, girenler veya ürünlerdeki maddelerden biri eklenir ya da çıkarılırsa sistem uygulanan işlemi azaltacak yönde tepki verir. Belli bir süre sonra sistem yeniden dengeye ulaşır. Derişimin değişmesi hız sabitinin sayısal değerini değiştirmez, bu nedenle denge sabitinin sayısal değeri de değişmez.

Denge bağıntısında yer almayan bir maddenin eklenmesi ya da çıkarılması hacim sabit ise dengeyi etkilemez. Basınç sabitse ve tepkime kabı hacmi değişebilen bir kapsa denge bağıntısında yer almayan madde eklenmesi dengeyi etkiler.

- Dengedeki sisteme madde ekleme

Dengedeki bir sisteme tepkimeye giren maddelerden biri eklenirse o maddenin derişimi artar. Sistem bu etkiyi azaltacak yönde tepki verir. İleri tepkime hızlanır ve denge ürünler yönüne kayar. Belli bir süre sonra yeniden denge kurulur.

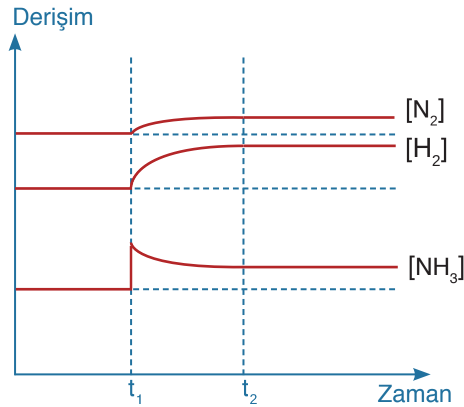
N_2(g) eklenmesi: Denge tepkimesine, sabit sıcaklıkta bir miktar N_2 gazı eklenirse sistem bu etkiyi azaltmak ve yeniden dengeye ulaşmak için ürünler yönünde hareket eder. İleri ve geri tepkime hızı artar. Ancak ileri tepkime hızındaki artış geri tepkime hızına göre daha fazla olur.



Grafik 6.6: *Denge tepkimesine N_2 gazı eklenmesi*

Ortama N_2 eklendiği için başlangıca göre N_2 derişimi artar. Tepkime ürünler yönüne hareket ettiği için H_2 derişimi azalırken NH_3 derişimi artar (Grafik 6.6).

NH_3(g) eklenmesi: Denge tepkimesine sabit sıcaklıkta bir miktar NH_3 gazı eklenirse sistem bu etkiyi azaltmak ve yeniden dengeye ulaşmak için girenler yönünde hareket eder. İleri ve geri tepkime hızı artar. Ancak geri tepkime hızındaki artış ileri tepkime hızına göre daha fazla olur.



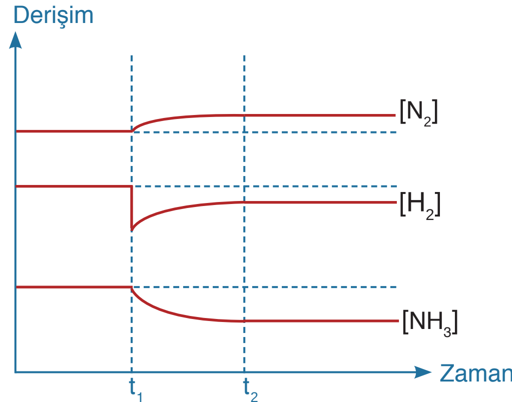
Grafik 6.7: *Denge tepkimesine NH_3 gazı eklenmesi*

Ortama NH_3 eklendiği için başlangıca göre NH_3 derişimi artar. Bundan sonra tepkime girenler yönüne hareket ettiği için N_2 ve H_2 derişimi artar (Grafik 6.7).

- Dengedeki sistemden madde uzaklaştırma

Dengedeki bir sistemde tepkimeye giren maddelerden biri uzaklaştırılırsa o maddenin derişimi azalır. Sistem o maddenin derişimini arttıracak yönde tepki verir. Geri tepkime ileri tepkimeye göre hızlı duruma gelir ve denge, girenler yönüne kayar. Belli bir süre sonra yeniden denge kurulur.

$H_2(g)$ uzaklaştırma Denge tepkimesine, sabit sıcaklıkta bir miktar H_2 gazı uzaklaştırılırsa, sistem H_2 derişimini arttırmak ve yeniden dengeye ulaşmak için girenler yönünde hareket eder. Geri tepkime ileri tepkimeye göre hızlı duruma gelir.

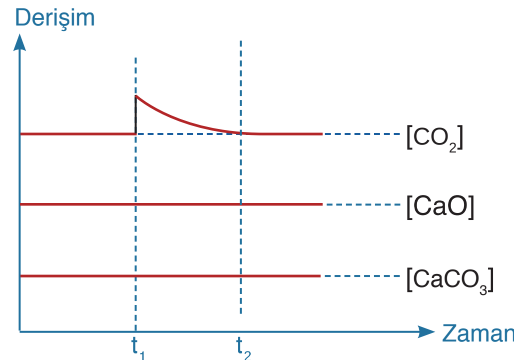


***Grafik 6.8:** Denge tepkimesinden H_2 gazı uzaklaştırılması*

Ortamdan H_2 uzaklaştırıldığı için başlangıca göre H_2 derişimi azalır. Tepkime girenler yönüne hareket ettiği için N_2 derişimi artarken NH_3 derişimi azalır (Grafik 6.8).

Denge tepkimesinde, denge bağıntısına yazılan bir tür madde varsa o maddenin derişimi değiştirildiğinde sistem yeniden dengeye gelmeye çalışır. Diğer denge tepkimelerinden farklı olarak o maddenin derişimi başlangıç derişimine ulaşır (Grafik 6.9). Örneğin

$CO_2(g)$ eklenirse Denge tepkimesine, sabit sıcaklıkta bir miktar CO_2 gazı eklenirse, sistem CO_2 derişimini azaltmak ve yeniden dengeye ulaşmak için girenler yönünde hareket eder. Geri tepkime ileri tepkimeye göre hızlı duruma gelir. Tekrar kurulan dengede CO_2 derişimi ilk dengedeki derişimine eşittir.



***Grafik 6.9:** Denge tepkimesine CO_2 eklenmesi*

Ortama CO_2 gazı eklenirse; denge girenler yönüne kayar, denge sabiti K_c değişmez, CO_2 gazının denge derişimi değişmez, CaO katısının mol sayısı azalır, derişimi değişmez, $CaCO_3$ katısının mol sayısı artar, derişimi değişmez.

Örnek

$H_2(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons 2HCl(g)$ tepkimesinde sabit sıcaklıkta 2 litrelik kapta 0,2 mol H_2, 0,4 mol Cl_2 ve 0,4 mol HCl gazları dengededir. Tepkime ortamına kaç mol Cl_2 gazı eklenirse HCl'ün denge mol sayısı 0,6 olur?

Çözüm

İlk denge derişimleri

$[H_2] = \frac{0,2}{2} = 0,1\ M$ $[Cl_2] = \frac{0,4}{2} = 0,2\ M$ $[HCl] = \frac{0,4}{2} = 0,2\ M$

$$K_C = \frac{[HCl]^2}{[H_2].[Cl_2]} = \frac{0,2^2}{0,1.0,2} = 2$$

	$H_2(g)$	+	$Cl_2(g)$	$\rightleftharpoons$	$2HCl(g)$
Denge	: 0,2 mol		0,4 mol		0,4 mol
Eklenen	: ----		+ n mol		----
Değişim	: - 0,1 mol		- 0,1 mol		+ 0,2 mol
Yeni denge	: 0,1 mol		0,3 + n mol		0,6 mol

Yeni dengede derişimler

$[H_2] = \frac{0,1}{2} = 0,05\ M$ $[Cl_2] = \frac{0,3 + n}{2}\ M$ $[HCl] = \frac{0,6}{2} = 0,3\ M$

$$K_C = \frac{[HCl]^2}{[H_2]\,[Cl_2]} \Rightarrow 2 = \frac{0,3^2}{0,05 \cdot \frac{0,3 + n}{2}} \Rightarrow n = 1,5 \text{ mol eklenmelidir.}$$

6.8. Alıştırma

$CO_2(g) + H_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2O(g)$ tepkimesinde sabit sıcaklıkta 1 litrelik kapta 0,4 mol CO_2, 0,5 mol H_2, 0,2 mol CO ve 0,4 mol H_2O dengededir. $H_2O(g)$ derişimini 0,3 molara indirmek için kaptan kaç mol H_2 gazı çekilmelidir?

6.9. Alıştırma

$H_2(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons 2HCl(g)$ denge tepkimesinde sabit sıcaklıkta 1 L'lik kapta 0,2 mol H_2, 0,4 mol Cl_2, 0,4 mol HCl gazları dengededir. Tepkime kabına kaç mol $H_2(g)$ eklenirse HCl(g) denge mol sayısı 0,6 olur?

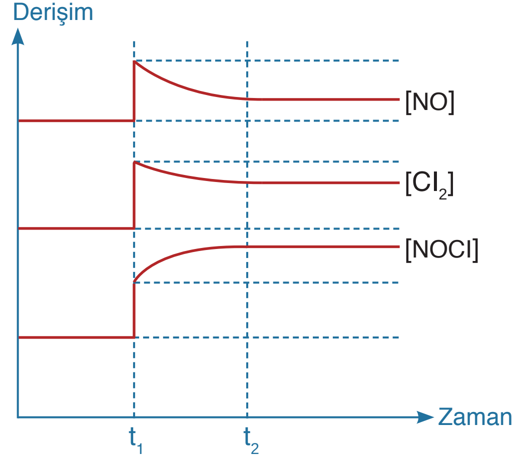
Basınç ve Hacmin Dengeye Etkisi

Basınç etkisi, yoğun fazlarda (örneğin sulu çözeltilerde) tepkimeye giren türlerin derişimlerini etkilemez. Bunun nedeni sıvı ve katıların sıkıştırılamamasıdır. Diğer yandan gazların derişimleri, basınçtaki değişimlerden önemli derecede etkilenir.

Sabit sıcaklıkta dengedeki bir tepkimenin bulunduğu kapta toplam basınç arttırılırsa denge derişimleri, artan basıncın etkisini azaltacak yönde değişir. Böylece denge bozulur. Gazların bulunduğu kabın hacmi küçültülürse gazların kısmi basınçları artar.

Le Châtelier İlkesi'ne göre tepkime, artan kısmi basınçları düşürecek yönde tepki verir. Böylece denge gaz molekül sayısının az olduğu yöne kayar.

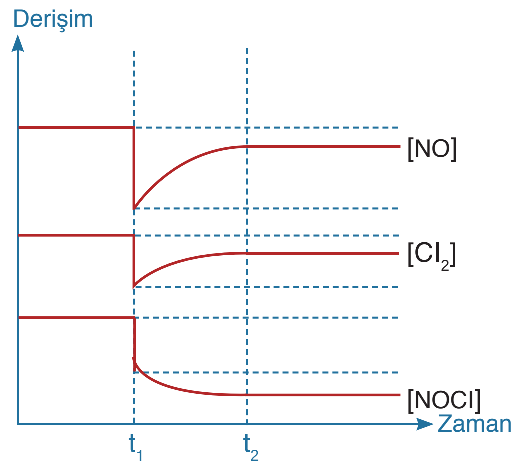
Hacim azaltılırsa kısmi basınçlar artar. Sistem, basıncı azaltmak ister. Tepkimenin yeniden dengeye gelebilmesi için tepkime gaz mol sayısının az olduğu yöne (ürünlere) kayar (Grafik 6.10). K_c ve K_p değişmez.



Grafik 6.10: *Denge tepkimesinde hacim azaltılması*

Gaz fazında dengede olan bir sistemin hacmi azaldığında dengedeki tüm maddelerin derişimi ve kısmi basıncı artar.

Hacim arttılırsa kısmi basınçlar azalır. Sistem, basıncı arttırmak ister. Tepkimenin yeniden dengeye gelebilmesi için tepkime gaz mol sayısının çok olduğu yöne (girenler) kayar (Grafik 6.11). K_c ve K_p değişmez.



Grafik 6.11: *Denge tepkimesinde hacim arttırılması*

Gaz fazında dengede olan bir sistemin hacmi arttırıldığında dengedeki tüm maddelerin derişimi ve kısmi basıncı azalır.

$2HCl(g) \rightleftharpoons H_2(g) + Cl_2(g)$ denge tepkimesinde girenlerin ve ürünlerin mol sayıları toplamı eşit olduğundan basınç ya da hacim değişimi dengeyi etkilemez.

Sonuç olarak dengedeki bir sistemde kap hacmi azaltılarak basınç arttırılırsa denge, gaz mol sayıları toplamının az olduğu yöne kayar. Kap hacmi arttırılarak basınç düşürülürse denge, gaz mol sayıları toplamının fazla olduğu yöne kayar. Girenler ve ürünlerde gaz mol sayıları toplamı eşitse basınç ya da hacim değişimi dengeyi etkilemez. Basınç ya da hacim değişimi K_c ve K_p değerlerini değiştirmez.

Örnek

$CO(g) + 2H_2(g) \rightleftharpoons CH_3OH(g)$ tepkimesi 2 litrelik bir kapta 2 mol CO, 8 mol H_2 ve 8 mol CH_3OH gazları dengededir. Sabit sıcaklıkta tepkime kabının hacmi değiştirildiğinde H_2 gazının dengedeki mol sayısı 6 mol olduğuna göre kabın son hacmi kaç litre olur?

Çözüm

Dengede derişimler

$[CO] = \frac{2}{2} = 1\ M$ $\quad [H_2] = \frac{8}{2} = 4\ M$ $\quad [CH_3OH] = \frac{8}{2} = 4\ M$

$$K_C = \frac{[CH_3OH]}{[CO]\,[H_2]^2} = \frac{4}{1.4^2} = \frac{1}{4}$$

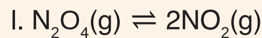
	$CO(g)$	+	$2H_2(g)$	$\rightleftharpoons$	$CH_3OH(g)$
Dengede	: 2 mol		8 mol		8 mol
Değişim	: -1 mol		-2 mol		+1 mol
Yeni denge	: 1 mol		6 mol		9 mol

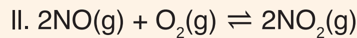
Yeni dengedeki derişimler

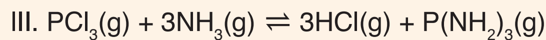
$[CO] = \frac{1}{V}\ M$ $\quad [H_2] = \frac{6}{V}\ M$ $\quad [CH_3OH] = \frac{9}{V}\ M$

$$K_C = \frac{[CH_3OH]}{[CO]\,[H_2]^2} = \frac{\frac{9}{V}}{\frac{1}{V}\cdot\left(\frac{6}{V}\right)^2} = \frac{1}{4} \Rightarrow V = 1L$$

6.10. Alıştırma







Yukarıdaki tepkimeler dengededir. Sabit sıcaklıkta tepkime kaplarının hacmi azaltılıp tekrar denge kurulduğunda

a) I. tepkimedeki NO_2'in mol sayısı nasıl değişir?

b) II. tepkimedeki NO_2'in molaritesi nasıl değişir?

c) III. tepkimedeki HCl'ün kısmi basıncı nasıl değişir?

6.11. Alıştırma

$2CO(g) \rightleftharpoons C(k) + CO_2(g)$ tepkimesi sabit sıcaklıkta 1 litrelik kapta 0,2 mol CO ve 0,01 mol CO_2 gazları ile dengededir. Dengedeki CO_2 gazının mol sayısının 0,06 olması için son hacim kaç litre olmalıdır?

Sıcaklığın Dengeye Etkisi

Bir denge karışımının sıcaklığının değiştirilmesi, sisteme ısı verilmesi (sistemin ısıtılması) ya da sistemden ısı alınması (sistemin soğutulması) demektir.

Le Châtelier İlkesi'ne göre sisteme ısı verilmesi endotermik tepkimelerde dengeyi ürünler yönüne, ekzotermik tepkimelerde girenler yönüne kaydırır. Denge tepkimelerinde sıcaklık değişimi hem dengeyi hem de denge sabitini değiştirir.

Endotermik denge tepkimelerinde

Sıcaklık arttırılırsa denge, ürünler yönüne kayarak sıcaklığı azaltmaya çalışır. K_c büyür.

Sıcaklık azaltılırsa denge, girenler yönüne kayarak sıcaklığı arttırmaya çalışır. K_c küçülür.

Örneğin $N_2O_4(g)$ + ısı $\rightleftharpoons 2NO_2(g)$ denge tepkimesinde

$N_2O_4(g)$ bileşiğinden $NO_2(g)$ bileşiğinin oluşumu endotermik denge tepkimesidir. Bu tepkimede sıcaklık arttırılırsa denge tepkimesi ürünler yönüne kayar.

$K_C = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$ şeklinde yazılan denge bağıntısında NO_2 derişimi artarken N_2O_4 derişimi azalır. Bu durumda denge sabiti K_c artar.

Bu tepkimede sıcaklık azaltılırsa denge tepkimesi girenler yönüne kayar.

$K_C = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$ şeklinde yazılan denge bağıntısında NO_2 derişimi azalırken N_2O_4 derişimi artar. Bu durumda denge sabiti K_c azalır.

$N_2O_4(g)$ + ısı $\rightleftharpoons 2NO_2(g)$ denge tepkimesinde sıcaklık değişiminin derişime etkisi grafikleri Grafik 6.12 ve 6.13'te verilmiştir.

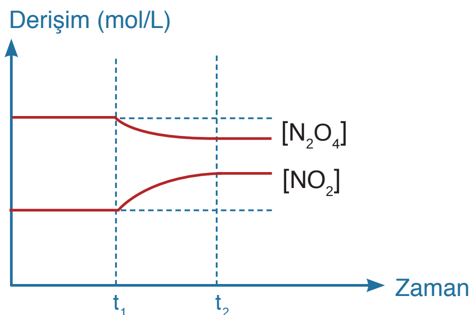
Bilgi Kutusu

Endotermik ve ekzotermik denge tepkimelerinde sıcaklık arttırılırsa her iki yöndeki hız artar. Böylece k_i (ileri hız sabiti) ve k_g (geri hız sabiti) hız sabitleri artar. Ancak endotermik denge tepkimelerinde sıcaklık artışıyla k_i, k_g'ye göre daha çok artar.

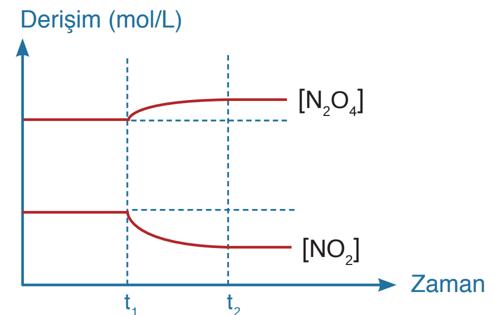
$\frac{k_i}{k_g}$ oranı büyür denge sabitinin sayısal değeri artar.

Ekzotermik denge tepkimelerinde ise sıcaklık artışıyla k_g, k_i'e göre daha çok artar.

$\frac{k_i}{k_g}$ oranı küçülür denge sabitinin sayısal değeri azalır.



***Grafik 6.12:** Denge tepkimesinde sıcaklık artışıyla derişim değişimi*



***Grafik 6.13:** Denge tepkimesinde sıcaklık azalmasıyla derişim değişimi*

Ekzotermik denge tepkimelerinde

Sıcaklık arttırılırsa denge, girenler yönüne kayarak sıcaklığı azaltmaya çalışır. K_c küçülür.

Sıcaklık azaltılırsa denge, ürünler yönüne kayarak sıcaklığı arttırmaya çalışır. K_c büyür. Örneğin

$2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g) + ısı$

denge tepkimesinde $NO_2(g)$ bileşiğinden $N_2O_4(g)$ bileşiğinin oluşumu ekzotermik denge tepkimesidir. Bu tepkimede sıcaklık arttırılırsa denge tepkimesi girenler yönüne kayar.

$K_C = \frac{[N_2O_4]}{[NO_2]^2}$ şeklinde yazılan denge bağıntısında

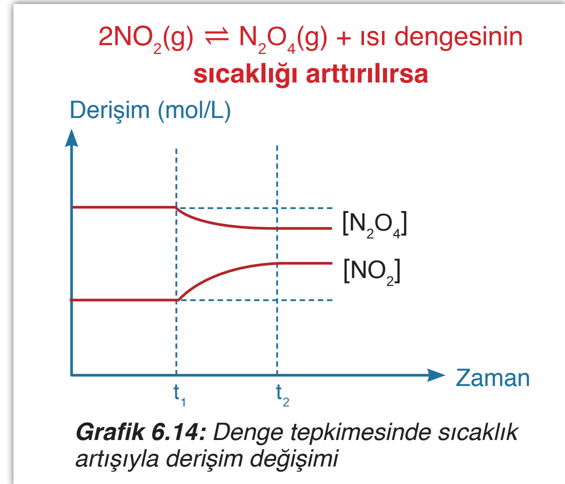
NO_2 derişimi artarken N_2O_4 derişimi azalır. Bu durumda denge sabiti K_c azalır.

Bu tepkimede sıcaklık azaltılırsa denge tepkimesi ürünler yönüne kayar.

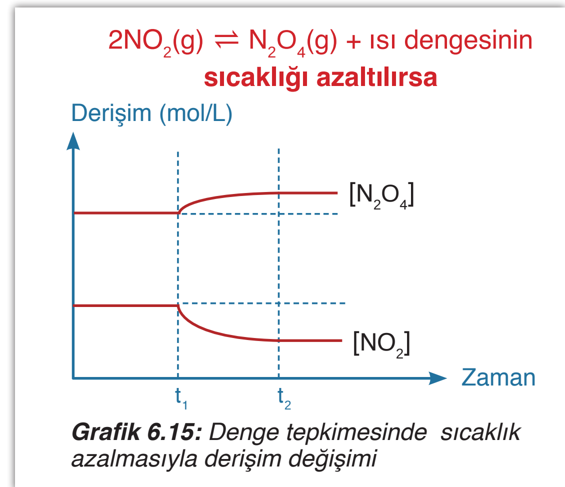
$K_C = \frac{[N_2O_4]}{[NO_2]^2}$ şeklinde yazılan denge bağıntısında

NO_2 derişimi azalırken N_2O_4 derişimi artar. Bu durumda denge sabiti K_c büyür.

$2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g) + ısı$ denge tepkimesinde sıcaklık değişiminin derişime etkisi grafikleri Grafik 6.14 ve 6.15'te verilmiştir.



Grafik 6.14: *Denge tepkimesinde sıcaklık artışıyla derişim değişimi*



Grafik 6.15: *Denge tepkimesinde sıcaklık azalmasıyla derişim değişimi*

Tablo 6.1: *Bazı Denge Tepkimelerine Yapılan Etki ve Dengedeki Değişimler*

Denge Tepkimesi	Etki		Etki	
	Değişim	Dengenin Yönü	Değişim	Dengenin Yönü
$SO_2(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons SO_2Cl_2(g)$	$SO_2(g)$ çekme	Girenler (←)	$Cl_2(g)$ ekleme	Ürünler (→)
$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$	Hacmi azaltma	Denge değişmez	Hacmi arttırma	Denge değişmez
$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$	Hacmi azaltma	Ürünler (→)	Hacmi arttırma	Girenler (←)
$NaCl(k)$ + ısı $\rightleftharpoons Na^+(suda) + Cl^-(suda)$	Sistemi soğutma	Girenler (←)	Sistemi ısıtma	Ürünler (→)
$PCl_3(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons PCl_5(g)$ $\Delta H < 0$	Sistemi soğutma	Ürünler (→)	Basınç artışı	Ürünler (→)
$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$	Hacmi arttırma	Ürünler (→)	$NO_2(g)$ ekleme	Girenler (←)

b) Le Châtelier İlkesi ile İlgili Hesaplamalar

Bir denge tepkimesinde hacim, basınç, sıcaklık ve dengedeki maddelerin birinin derişiminde yapılan değişiklik, dengedeki tüm maddelerin derişimlerini etkiler. Sıcaklık değişmediği sürece K_c'nin değişmediği göz önüne alınarak yeni denge derişimleri bulunabilir.

Bazı denge tepkimelerinde derişim, basınç, hacim ve sıcaklık değişiminin etkisi Tablo 6.1'de verilmiştir.

Örnek

$2PbS(k) + 3O_2(g) \rightleftharpoons 2PbO(k) + 2SO_2(g) \qquad \Delta H < 0$

Sabit sıcaklıktaki denge tepkimesi ile ilgili aşağıdaki soruları cevaplayınız.

a) Dengedeki sisteme O_2 gazı eklendiğinde dengenin yönü; yeni denge kurulduğunda denge derişimleri ve denge sabiti nasıl değişir?

b) Dengedeki sistemden O_2 gazı çekilirse dengenin yönü; yeni denge kurulduğunda denge derişimleri ve denge sabiti nasıl değişir?

c) Hacim arttırılırsa dengenin yönü; yeni denge kurulduğunda denge derişimleri ve denge sabiti nasıl değişir?

ç) Sıcaklık arttırılırsa dengenin yönü; yeni denge kurulduğunda denge derişimleri ve denge sabiti nasıl değişir?

d) Dengedeki sisteme PbS katısı eklenirse dengenin yönü; yeni denge kurulduğunda denge derişimleri ve denge sabiti (K_c) nasıl değişir?

Çözüm

a) Sistem, O_2 gazının derişimini azaltmak ister. Denge, ürünler yönüne kayar. Yeni denge kurulduğunda O_2 gazının derişimi, başlangıca göre artar. SO_2'in derişimi artar. PbS ve PbO derişimleri ve K_c değişmez.

b) Sistem, O_2 gazının derişimini arttırmak ister. Denge, girenler yönüne kayar. Yeni denge kurulduğunda O_2 ve SO_2 derişimi, başlangıca göre azalır. PbS, PbO derişimleri ve K_c değişmez.

c) Hacim arttırılırsa basınç azalır. Sistem, basıncı arttırmak ister. Denge gaz mol sayısının çok olduğu yöne (girenler) kayar. Yeni denge kurulduğunda O_2 gazının ve SO_2'in derişimi, başlangıca göre azalır. PbS ve PbO derişimleri ve K_c değişmez.

ç) Sıcaklık arttırılırsa denge sıcaklığı azaltmak için girenler yönüne kayar. Yeni denge kurulduğunda O_2 derişimi, başlangıca göre artar. SO_2'in derişimi azalır. PbS ve PbO derişimleri değişmez. K_c azalır.

d) Katı madde eklenmesi dengenin yönünü, denge derişimlerini ve K_c'ni değiştirmez.

Örnek

$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ denge tepkimesinde hacim azaltılırsa

a) N_2O_4 gazının derişimi, N_2O_4 gazının mol sayısı nasıl değişir?

b) NO_2 gazının derişimi, NO_2 gazının mol sayısı nasıl değişir?

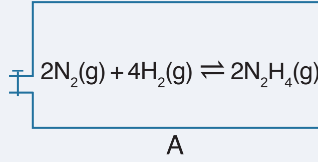
Çözüm

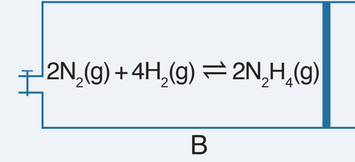
a) Hacim azaltıldığında denge, girenler yönüne kayar. N_2O_4 gazının derişimi ve mol sayısı artar.

b) NO_2 gazının derişimi artar, mol sayısı azalır.

Örnek

Yan taraftaki denge sistemlerinde sabit sıcaklıkta her iki kaba He gazı ekleniyor. A ve B kaplarındaki N_2 gazlarının derişimleri ve mol sayılarındaki değişim nasıl olur?





Çözüm

A kabında hacim sabit olduğundan He gazının eklenmesi dengeyi etkilemez. Bu nedenle N_2 gazının derişimi ve mol sayısı değişmez.

B kabına He gazı eklendiğinde hacim artar. Dengedeki gazların kısmi basınçları azalır. Sistem basıncı artırmak ister, denge gaz mol sayısının çok olduğu yöne (girenler) kayar. N_2 gazının derişimi başlangıca göre azalır, mol sayısı artar.

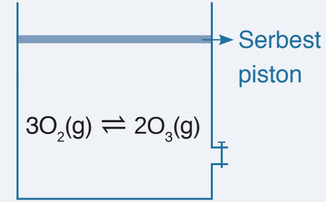
Örnek

Şekildeki pistonlu kapta sabit sıcaklıkta sistem dengededir. Tepkime endotermik olduğuna göre

a) Pistonun üzerine ağırlık konulursa

b) Kaba bir miktar He gazı eklenirse

c) Piston sabit tutularak sıcaklık artırılırsa denge nasıl değişir?



Çözüm

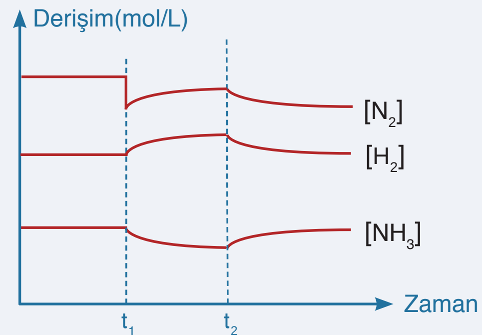
a) Pistonun üzerine ağırlık konulursa basınç artar. Denge, basıncı azaltmak için gaz mol sayısının az olduğu yöne (ürünler) kayar.

b) Helyum eklendiğinde hacim artar, basınç azalır. Denge, basıncı arttırmak için gaz mol sayısının çok olduğu yöne (girenlere) kayar.

c) Piston sabitken sıcaklık arttırılırsa endotermik tepkimelerde denge, ürünler yönüne kayar.

Örnek

$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ $\Delta H < 0$ tepkimesine ait derişim-zaman grafiği yanda verilmiştir. Dengedeki sisteme t_1 ve t_2 anlarında yapılan etkiler nelerdir?



Çözüm

t_1 anında sistemden N_2 gazı çekilmiş, t_2 anında sistemin sıcaklığı azaltılmıştır.

Örnek

Sabit hacimli bir kapta gerçekleşen

$2BrCl(g) \rightleftharpoons Br_2(g) + Cl_2(g)$ tepkimesi için

227 °C'de K_c= 32

727 °C'de K_c= 5 olduğuna göre

a) Denge tepkimesi endotermik mi yoksa ekzotermik midir?

b) Sıcaklık azaltılırsa maddelerin denge derişimleri nasıl değişir?

Çözüm

a) Sıcaklık arttığında K_c azaldığından denge girenler yönüne kaymaktadır. Denge tepkimesi ekzotermiktir.

b) Ekzotermik denge tepkimelerinde sıcaklık azaltılırsa denge ürünler yönüne kayar. BrCl gazının derişimi azalırken Br_2 ve Cl_2 gazlarının derişimi artar.

Örnek

$CO_2(g) + NO(g) \rightleftharpoons NO_2(g) + CO(g)$ denge tepkimesinde sabit sıcaklıkta 1 litrelik kapta 0,4 mol CO_2, 0,9 mol NO, 0,6 mol NO_2 ve 0,6 mol CO gazları dengededir. Kaba 0,5 mol CO_2 gazı eklenince sistem aynı sıcaklıkta dengeye geldiğinde kapta kaç mol NO_2 bulunur?

Çözüm

$$K_C = \frac{[NO_2]\,[CO]}{[O_2]\,[NO]}$$

V = 1 litre olduğundan gazların denge mol sayıları derişimlerine eşittir.

$$K_C = \frac{0,6.06}{0,4.0,9} = 1$$

	$CO_2(g)$	+	$NO(g)$	$\rightleftharpoons$	$NO_2(g)$	+	$CO(g)$
Başlanıç	: 0,4mol		0,9 mol		0,6 mol		0,6 mol
Etki	: +0,5 mol						
Değişim	: – x		– x		+ x		+ x
Yeni denge	: 0,9 – x		0,9 – x		0,6 + x		0,6 + x

$$1 = \frac{(0,6 + x)^2}{(0,9 - x)^2} \qquad 09,6 + x = 0,9 - x \qquad 2x = 0,3 \Rightarrow x = 0,15$$

Dengede n_{NO_2}= 0,6 + 0,15 = 0,75 mol

6.12. Alıştırma

$2NO_2(g) + ısı \rightleftharpoons O_2(g) + 2NO(g)$ tepkimesi dengede iken

a) Sabit sıcaklıkta ortama bir miktar $NO_2(g)$ ekleniyor.

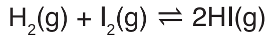
b) Sıcaklık arttırılıyor.

Buna göre sistem yeniden dengeye geldiğinde tepkimedeki maddelerin derişim-zaman grafiklerini çiziniz.

c) Katalizörün Dengeye Etkisi

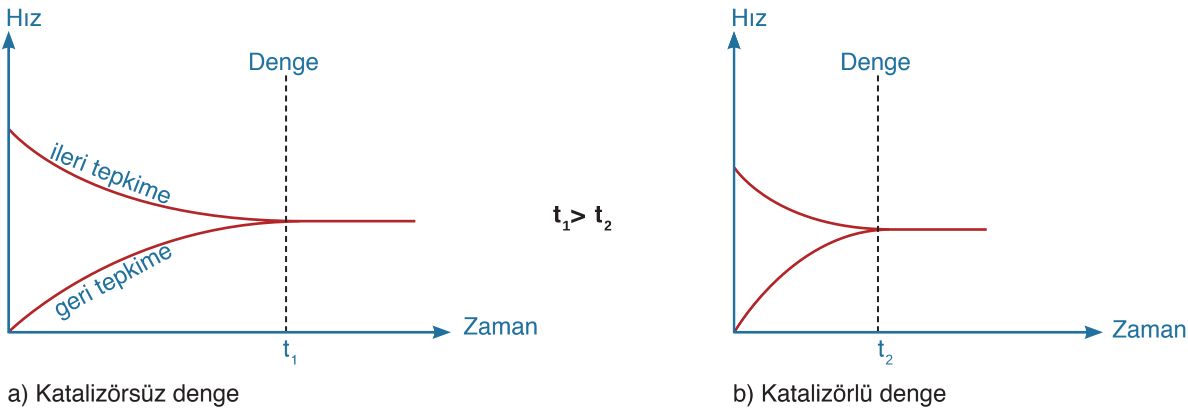
Aktivasyon enerjisini azaltarak tepkime hızını arttıran maddelere **katalizör** denir. Bir denge tepkimesinde katalizör kullanıldığında ileri ve geri tepkimenin aktivasyon enerjisi aynı miktarda düşeceğinden hem ileri tepkime hızı hem de geri tepkime hızı aynı oranda artar. Bundan dolayı katalizör dengeyi bozmaz. Sistemin daha çabuk dengeye gelmesini sağlayan katalizör dengenin yönünü değiştirmez. Sistem, dengeye katalizör olmadan da ulaşabilir.

Aşağıdaki grafiklerde



$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$

denge tepkimesi için katalizörsüz ve katalizörlü hız-zaman değişimleri verilmiştir (Grafik 6.16). Bu denge için 500 K'de K_c=160'tır. Tepkimede katalizör kullanılırsa K_c değişmez. Dengeye ulaşma süresi kısalır.



a) Katalizörsüz denge

b) Katalizörlü denge

Grafik 6.16: *Katalizörsüz ve katalizörlü denge tepkimeleri*

ç) Demir(III) Nitrat ve Potasyum Tiyosiyanat Çözeltileri Karışımından Demir(III) Tiyosiyanat Oluşumu

Fe^{3+} iyonu ile SCN^-(tiyosiyanat) iyonu arasında gerçekleşen

$Fe^{3+}(suda) + SCN^-(suda) \rightleftharpoons FeSCN^{2+}(suda)$ tepkimesi için

$K_C = \dfrac{[FeSCN^{2+}]}{[Fe^{3+}]\,[SCN^-]}$ denge bağıntısı yazılır. Denge sabitinin değerini hesaplamak için iyon derişimlerinin bilinmesi gerekir. $FeSCN^{2+}$ iyonunun denge derişimi bu iyonları içeren çözeltinin renkli olmasından yararlanılarak bulunabilir.

Bir çözeltinin renk koyuluğu, içindeki maddelerin derişimine ve çözelti yüksekliğine bağlıdır. Örneğin eşit çaplı iki tüpe konulan aynı renkli maddenin 0,1 M derişimdeki çözeltisinin 2 cm'si ile 0,2 M derişimdeki çözeltinin 1 cm'si aynı renk koyuluğunu verir. O hâlde tüplerdeki çözeltilerin derişimi ile yüksekliklerinin çarpımları eşittir. "h" yükseklik "C" derişimi ifade ettiğine göre $h_1\,C_1 = h_2\,C_2$ eşitliği yazılabilir.

6.1 ETKİNLİK

Etkinliğin Adı: **Demir(III) Tiyosiyanat [$Fe(SCN)_3$] Oluşumu**

Etkinliğin Amacı: Derişimin dengeye etkisinin gözlenmesi

Etkinliğin Süresi: 40 dakika

Araç ve Gereçler

- Demir(III) nitrat [$Fe(NO_3)_3$]
- Potasyum tiyosiyanat (KSCN)
- Deney tüpü 6 adet
- Lastik tıpa 6 adet
- 25 mL'lik mezür
- 10 mL'lik pipet
- Cam baget

Uygulama Aşamaları

1. 0,002 M 25 mL potasyum tiyosiyanat (KSCN) çözeltisi hazırlayınız.
2. 0,2 M 15 mL demir(III) nitrat [$Fe(NO_3)_3$] çözeltisi hazırlayınız.
3. Boyları ve çapları aynı olan 6 deney tüpünden birini karşılaştırma tüpü olarak etiketleyip diğerlerini ise 1'den 5'e kadar numaralayınız.
4. Numaralanmış tüplerin tümüne beşer mL 0,002 M KSCN çözeltisi koyunuz.
5. Karşılaştırma tüpüne 5 mL 0,2 M demir(III) nitrat [$Fe(NO_3)_3$] çözeltisi ekleyiniz.
6. 25 mL'lik mezüre 10 mL 0,2 M $Fe(NO_3)_3$ çözeltisi konulduktan sonra saf su ile 25 mL'ye tamamlayınız. Böylece 0,08 M Fe^{3+} iyonları içeren çözelti oluşturulur.
7. 0,08 M Fe^{3+} iyonları içeren mezürdeki çözeltinin 5 mL'sini 1 numaralı deney tüpüne ekleyiniz ve tüpü çalkalayınız.
8. Mezürde 10 mL 0,08 M $Fe(NO_3)_3$ çözeltisi kalıncaya kadar pipetle alınız, kalan çözeltiyi saf su ile 25 mL'ye seyreltiniz ve iyice karıştırınız. Böylece 0,0032 M Fe^{3+} içeren çözelti elde edilir.
9. 0,0032 M Fe^{3+} içeren çözeltinin 5 mL'sini 2 numaralı deney tüpüne ekleyiniz ve tüpü çalkalayınız.

10. Sekizinci işlemde seyreltme işlemi sürdürülen $Fe(NO_3)_3$ çözeltisinden 3, 4 ve 5 numaralı deney tüplerine beşer mL ekleyiniz ve tüpleri çalkalayınız.

11. Karşılaştırma tüpü ile diğer tüplerin renk koyuluğunu beyaz bir zeminde tepeden bakarak karşılaştırınız. Tüplerdeki çözeltilerin renk koyulukları aynı ise bir cetvelle her iki çözeltinin yüksekliğini ölçünüz. Renk aynı değilse karşılaştırma çözeltisinin bir kısmını temiz ve kuru bir behere alınız. Renk koyulukları aynı oluncaya kadar yalnızca karşılaştırma çözeltisinin yüksekliğini değiştirerek işlemi sürdürünüz. Eş renkli çözeltilerin yüksekliğini ölçünüz.

12. Verileri çizelgeye işleyiniz.

Tüpler	1	2	3	4	5
h_{denge} (cm)					
$h_{karşılaştırma}$ (cm)					

Sonuçlar
$[FeSCN^{2+}]_{karşılaştırma}$

Tüpler	1	2	3	4	5
$[Fe^{3+}]_{başlangıç}$					
$[SCN^-]_{karşılaştırma}$					
$[FeSCN^{2+}]_{denge}$					
$[Fe^{3+}]_{denge}$					
$[SCN^-]_{denge}$					
K_{denge}					

Etkinliğin Değerlendirilmesi

Bir çözeltinin derişimi ile renk koyuluğu arasında nasıl bir ilişki vardır? Aynı iyonların eşit derişimli, farklı yükseklikteki çözeltilerine tepeden bakıldığında çözeltilerdeki renk koyuluğu farklı mıdır? Renk koyulukları eşit olduğunda çözeltilerin yükseklikleri ve derişimleri arasında nasıl bir ilişki vardır?

3. BÖLÜM

SULU ÇÖZELTİ DENGELERİ

- *Su, iyonlaşır mı?*
- *Asit-baz tanımları, bütün maddelerin asit-baz özelliklerini belirleyebilir mi?*
- *Asitlerin ve bazların kuvveti nelere bağlıdır?*
- *Tampon çözeltilerin kullanım alanları nelerdir?*
- *Tuzların hepsi nötral midir?*
- *Çözünürlük denge sabiti hangi maddeler için kullanılır?*

6.3.1. Suyun Oto-İyonizasyonu ve pH, pOH Kavramları

Su molekülü, polar yapılı iyi bir çözücüdür. Suyun önemli özelliklerinden biri hem asit hem de baz olarak davranabilmesidir. Su, HCl ve CH_3COOH gibi asitlerle tepkimelerinde baz olarak davranırken NH_3 gibi bazlarla tepkimelerinde asit olarak davranır. Su, az da olsa iyonlaştığından zayıf bir elektrolittir ve elektirik iletkenliği düşüktür.

Sıvı fazdaki su molekülleri hareket hâlindedir ve birbirleriyle çarpışır. Bu çarpışma sonucunda bir su molekülünün hidrojeni başka bir su molekülünün oksijen atomuna bağlanarak H_3O^+ (hidronyum) iyonu ve OH^- (hidroksit) oluşturur. Suda oluşan bu iyonlar az da olsa elektrik akımını iletir. Suda H_3O^+ ve OH^- iyonlarının derişimlerinin sabit olması elektirik iletkenliğinin sabit olmasını sağlar.

İyon derişimlerinin sabit olması suda

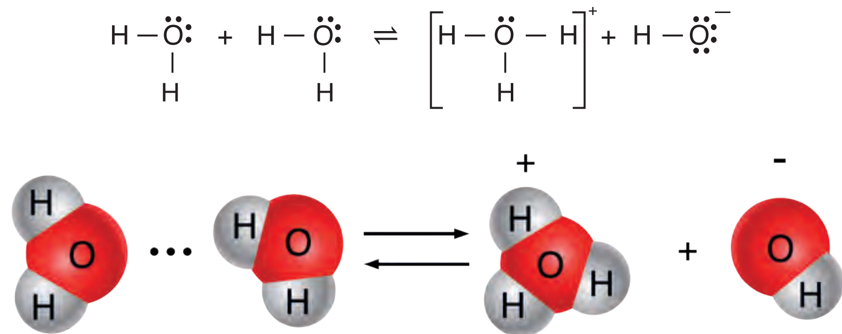
$H_2O(s) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_3O^+(suda) + OH^-(suda)$ dengesinin olduğunu gösterir.

Bu denge kısaca

$H_2O(s) \rightleftharpoons H^+(suda) + OH^-(suda)$ şeklinde gösterilir.

Kimyasal tepkimelerde H_3O^+ iyonu = H^+ iyonu alınır.

Bazı su molekülleri proton verir, bazı su molekülleri de proton alır. Bu olaya suyun **oto-iyonizasyonu** (kendi kendine iyonlaşması) veya **otoprotolizi** denir. Suyun, asit-baz özelliklerini tanımlamak için iyonlaşması Görsel 6.6'da gösterilmiştir.



Görsel 6.6: *Suyun oto-iyonizasyon tepkimesi*

25 °C'de suyun iyonlaşma denge bağıntısı

$K_C = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]} = 1{,}8.10^{-16}$ şeklinde yazılabilir.

K_C denge ifadesinde $[H_2O]$ sabit bir değer olarak alınır. Bu sabit değer

1 L su yaklaşık 1000 gramdır. 1000 gram suyun mol sayısı

$n = \frac{1000}{18} \cong 55{,}6$ mol

1 L suyun molar derişimi $M = \frac{n}{V} = \frac{55{,}6}{1} = 55{,}6$ mol/L olur.

25 °C'de saf suda $[H_2O] = 55{,}6$ M sabit değeri kullanılabilir. Bu değer denge bağıntısında yerine yazılırsa

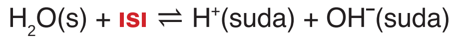
$K_c\,[H_2O] = [H^+]\,[OH^-]$

$K_c\,[H_2O] = 1{,}8.10^{-16}.55{,}6 \cong 1.10^{-14}$

$K_c\,[H_2O] = K_{su}$ adı verilir.

Suyun iyonlaşmasından elde edilen bu çarpıma suyun **iyonlaşma sabiti** denir.

$$K_{su} = [H^+]\,[OH^-]$$



$$H_2O(s) + \text{ısı} \rightleftharpoons H^+(suda) + OH^-(suda)$$

Suyun iyonlaşması endotermik denge tepkimesi olduğundan K_{su} değeri sıcaklık arttıkça artar. Farklı sıcaklıklarda K_{su} değerleri Tablo 6.2'de verilmiştir. Sıcaklık arttıkça saf suda iyon derişimi artacağından elektrik iletkenliği artar.

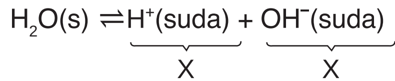
25 °C'de asidik, bazik ya da nötr bütün çözeltiler için K_{su} değeri yaklaşık olarak 1.10^{-14} tür

$K_{su} = [H^+]\,[OH^-] = 1.10^{-14}$ tür (Grafik 6.17).

Tablo 6.2: Farklı Sıcaklıklarda K_{su} Değerleri

Sıcaklık (°C)	K_{su}
0	$0{,}113.10^{-14}$
10	$0{,}292.10^{-14}$
25	**$1{,}008.10^{-14}$**
30	$1{,}468.10^{-14}$
40	$2{,}917.10^{-14}$
50	$5{,}473.10^{-14}$

Saf su kısmen iyonlaştığından 25 °C'de H^+ derişimi X molar kabul edilirse



$$H_2O(s) \rightleftharpoons \underbrace{H^+(suda)}_{X} + \underbrace{OH^-(suda)}_{X}$$

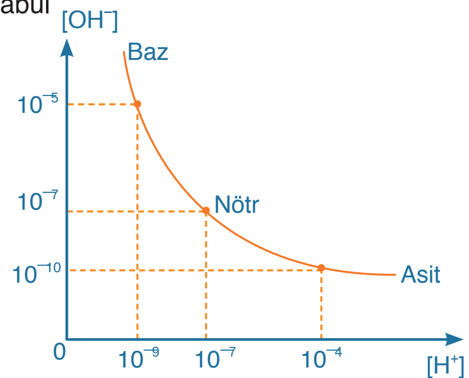
$K_{su} = [H^+]\,[OH^-] = X.X = 10^{-14}$

$X = 10^{-7}$ M olarak hesaplanır.

Saf suda 25 °C'de $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$ M olur.

Suda asit çözülürse H^+ iyon derişimi artar ve suyun iyonlaşma dengesi girenler yönünde bozulur, OH^- iyon derişimi azalır. Bu durumda asit çözeltilerinde

$[H^+] > 10^{-7}$ M $> [OH^-]$ olur.



Grafik 6.17: *25 °C'de asit ve baz çözeltilerinde iyon derişimleri*

Bilgi Kutusu

pH İngilizcede Power of Hydrogen açılımı olan hidrojenin gücü (kapasitesi) anlamına gelir.

Suda baz çözülürse OH^- iyon derişimi artar ve suyun iyonlaşma dengesi girenler yönünde bozulur, H^+ iyon derişimi azalır. Bu durumda baz çözeltilerinde

$[OH^-] > 10^{-7}$ M $> [H^+]$ olur.

Sonuç olarak bir çözeltide

$[H^+] = [OH^-]$ ise çözelti nötr

$[H^+] > [OH^-]$ ise çözelti asit

$[OH^-] > [H^+]$ ise çözelti bazdır.

pH ve pOH kavramları

Sulu çözeltilerde H^+ ve OH^- iyonlarının derişimleri, genellikle çok küçük sayılardır ve bunlarla çalışılması oldukça güçtür. Bu nedenle 1909'da Danimarkalı kimyacı Soren Sorensen (Sorın Sorınsın) tarafından daha pratik bir kavram olan **pH** önerilmiştir. Bir çözeltinin pH'si hidrojen iyonu derişiminin (mol/L olarak) negatif logaritması olarak tanımlanır.

Bazı tepkimelerde çözelti asitten baza, bazdan aside dönüşürken H^+ ve OH^- iyonları derişimlerinde çok büyük değişiklikler olur. Bu nedenle ortamın asitlik ve bazlık derecesini göstermek üzere pH ve pOH terimleri kullanılır.

"p" değeri matematikte -logaritma (p = -log) demektir.

pH, H_3O^+ veya H^+ iyonları derişiminin negatif logaritmasına, pOH ise OH^- iyonları derişiminin negatif logaritmasına eşittir.

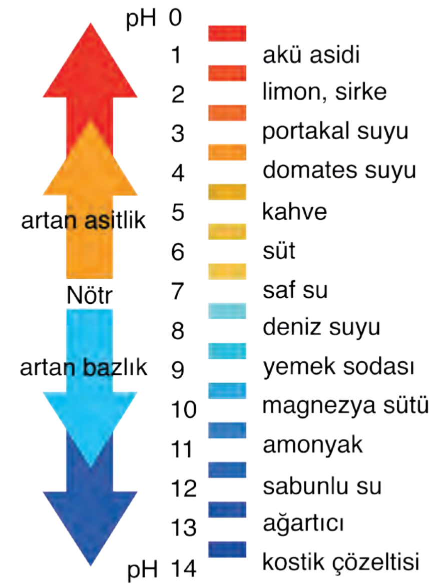
$\mathbf{pH = -log[H^+]}$ veya $pH = -log[H_3O^+]$ ve $[H^+] = 10^{-pH}$

$\mathbf{pOH = -log[OH^-]}$ ve $[OH^-] = 10^{-pOH}$

25 °C'de sulu çözeltilerde H^+ veya OH^- iyon derişimlerinden biri büyüdüğünde diğeri küçülür.

$\mathbf{[H^+]\,[OH^-] = 10^{-14}}$ olduğundan **pH + pOH = 14** olur.

Asit çözeltilerinde pH < 7, baz çözeltilerinde pH > 7, nötr çözeltilerde ise pH = 7'dir. Bazı maddelerin pH değerleri Görsel 6.7'de verilmiştir.



Görsel 6.7: *Bazı maddelerin pH değerleri*

Asit, nötr ve baz çözeltilerde pH, pOH ve iyon derişimleri Tablo 6.3'te verilmiştir.

Tablo 6.3: *Asit, Nötr ve Baz Çözeltilerde* 25 °C'de *pH, pOH ve İyon Derişimleri*

Asit Çözeltilerinde	Nötr Çözeltilerde	Baz Çözeltilerinde
$[H^+] > [OH^-]$	$[H^+] = [OH^-]$	$[H^+] < [OH^-]$
$[H^+] > 10^{-7}$ M	$[H^+] = 10^{-7}$ M	$[OH^-] > 10^{-7}$ M
$[OH^-] < 10^{-7}$ M	$[OH^-] = 10^{-7}$ M	$[H^+] < 10^{-7}$ M
pH < 7	pH = 7	pH > 7
pOH > 7	pOH = 7	pOH < 7
pH < pOH	pH = pOH	pH > pOH

Örnek

Evlerde kullanılan amonyaklı bir temizlik çözeltisindeki OH^- iyonlarının derişimi 0,001 M'dır. Buna göre bu çözeltide

a) Hidrojen iyonlarının derişimi kaç M'dır?

b) pH ve pOH kaçtır?

Çözüm

a) $[OH^-] = 0,001 = 1.10^{-3}$ M $\quad [H^+]\,[OH^-] = 10^{-14} \Rightarrow [H^+].1.10^{-3} = 10^{-14} \Rightarrow [H^+] = 10^{-11}$ M

b) $pH = -\log [H^+] \Rightarrow pH = -\log 10^{-11} \quad pH = 11 \qquad pH + pOH = 14 \Rightarrow pOH = 14 - 11 = 3$

Örnek

Suni gübre yapımında kullanılan HNO_3'in 1,89 gramı suda çözülerek 100 mL çözelti hazırlanıyor. Çözeltide hidrojen iyonlarının derişimi, pH ve pOH kaçtır? (H:1, N:14, O:16, log3 = 0,4)

Çözüm

$HNO_3 = 1 + 14 + 3.16 = 63$ g/mol

HNO_3'in mol sayısı, $n = \frac{1,89}{63} = 0,03$ mol $\qquad [HNO_3] = \frac{0,03}{0,1L} = 0,3$ M $\quad [H^+] = 0,3$ M $= 3.10^{-1}$

$pH = -\log [H^+] \Rightarrow pH = -\log 3.10^{-1} \Rightarrow pH = -(\log 3 + \log 10^{-1}) \Rightarrow pH = -(0,4 - 1) = 0,6$

$pH + pOH = 14 \Rightarrow pOH = 14 - 0,6 = 13,4$

6.13. Alıştırma

pH'si 3 olan HBr çözeltisinin 10 litresinde kaç gram HBr çözünmüştür? (H:1, Br:80)

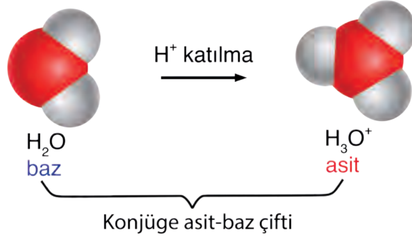
6.14. Alıştırma

2 gram NaOH katısı ile 5 litre çözelti hazırlanıyor. (H:1, O:16, Na:23) Buna göre çözeltide

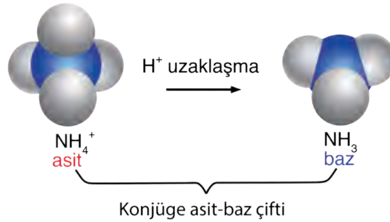
a) H^+ ve OH^- iyonları derişimi kaç molardır?

b) pH ve pOH kaçtır?

6.3.2. Brönsted-Lowry Asit Baz Tanımı



Görsel 6.8: *Konjuge asit-baz çiftinde H^+ katılması*



Görsel 6.9: *Konjuge asit-baz çiftinde H^+ uzaklaşması*

Arrhenius (Arhenyus) asit baz tanımına göre sulu çözeltilerine hidrojen iyonu verebilen maddeler **asit**, hidroksit iyonu verebilen maddeler **bazdır**. Arrhenius'un bu tanımı SO_2, CO_2 ve NH_3 gibi maddelerin asit veya bazlığını açıklayamadığı için dar kapsamlıdır. Brönsted (Bornsted) ve Lowry (Lovri) daha genel bir asit baz tanımıyla Arrhenius tanımındaki eksiklikleri gidermişlerdir.

Brönsted-Lowry tanımı bir asit baz tepkimesinde H^+ iyonlarının aktarımına dayanır (Görsel 6.8 ve Görsel 6.9). H^+ iyonu bir proton (elektronunu kaybetmiş hidrojen atomu) olduğundan Brönsted-Lowry tanımı proton verici ve proton alıcı fikrine dayanır.

Brönsted-Lowry'e göre proton veren madde **asit**, proton alan madde **bazdır**.

Asit: proton (H^+ iyonu) verici.

Baz: proton (H^+ iyonu) alıcı.

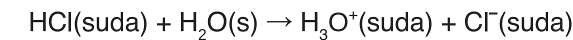
Bu tanımdan hareketle yapısında H^+ iyonu içermeyen maddelerin asitliği, OH^- iyonu içermeyen maddelerin bazlığı açıklanmıştır.

$HCl(suda) + H_2O(s) \rightarrow H_3O^+(suda) + Cl^-(suda)$ tepkimesine göre HCl çözeltide suya proton verdiği için asittir.

Brönsted-Lowry tanımı asitten gelen H^+ iyonunun bir su molekülü ile birleşerek H_3O^+ iyonu oluşturduğunu gösterir. Bu tanım aynı zamanda içeriğinde OH^- iyonları içermeyen (NH_3 gibi) bazlar içinde geçerlidir.

$NH_3(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons NH_4^+(suda) + OH^-(suda)$ tepkimesine göre NH_3 sudan proton aldığı için bazdır.

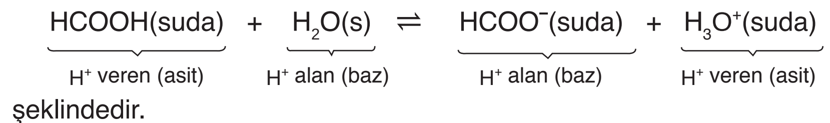
Brönsted-Lowry tanımına göre asitler (proton vericiler) ve bazlar (proton alıcılar) her zaman bir arada bulunur. HCl ve H_2O arasındaki tepkimede HCl proton verici (asit) ve H_2O proton alıcıdır (baz).



$$HCl(suda) + H_2O(s) \rightarrow H_3O^+(suda) + Cl^-(suda)$$

HCl(suda)	$H_2O(s)$	$H_3O^+(suda)$	$Cl^-(suda)$
Asit (proton verici)	Baz (proton alıcı)	Asit (proton verici)	Baz (proton alıcı)

HCOOH (metanoik asit) bileşiğinin suda çözünme denklemi

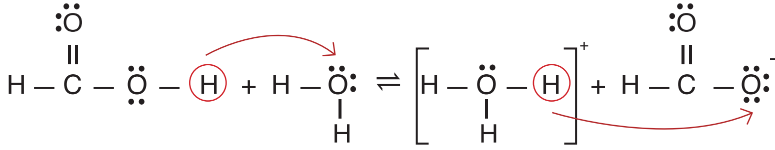


$$HCOOH(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons HCOO^-(suda) + H_3O^+(suda)$$

HCOOH(suda)	$H_2O(s)$	$HCOO^-(suda)$	$H_3O^+(suda)$
H^+ veren (asit)	H^+ alan (baz)	H^+ alan (baz)	H^+ veren (asit)

şeklindedir.

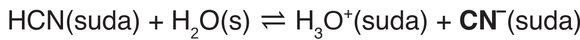
HCOOH bileşiği suda çözünerek H_3O^+ iyonu oluşturur. Bu nedenle HCOOH asidik ve tepkime çift yönlü olduğu için zayıf elektrolittir (Görsel 6.10).



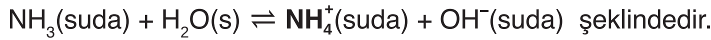
Görsel 6.10: *Metanoik asitin suda hidronyum ve format iyonu oluşturması*

6.3.3. Katyonların Asitliği ve Anyonların Bazlığı

Brönsted-Lowry asit baz tanımında belirtilen katyon ve anyonların asitliği veya bazlığı su ile tepkimelerinden belirlenebilir. Buna göre HCN ve NH_3 bileşiklerin suyla tepkimeleri sonucu oluşan katyon ve anyonlar

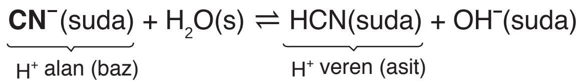


$HCN(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_3O^+(suda) + \mathbf{CN^-}(suda)$

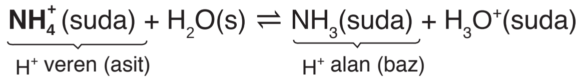


$NH_3(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons \mathbf{NH_4^+}(suda) + OH^-(suda)$ şeklindedir.

HCN zayıf asidi ve NH_3 zayıf bazının suyla tepkimesinden oluşan CN^- anyonu ve NH_4^+ katyonunun suyla tepkimeleri sonucunda bu iyonların asitliği ve bazlığı belirlenir.



$\underbrace{\mathbf{CN^-}(suda)}_{H^+ \text{ alan (baz)}} + H_2O(s) \rightleftharpoons \underbrace{HCN(suda)}_{H^+ \text{ veren (asit)}} + OH^-(suda)$



$\underbrace{\mathbf{NH_4^+}(suda)}_{H^+ \text{ veren (asit)}} + H_2O(s) \rightleftharpoons \underbrace{NH_3(suda)}_{H^+ \text{ alan (baz)}} + H_3O^+(suda)$

CN^- anyonu OH^- iyonu oluşturduğu için bazik, NH_4^+ katyonu H_3O^+ iyonu oluşturduğu için asidik özellik gösterir. Suyla etkileşen anyonlar bazik, katyonlar asidik özellik gösterir.

a) Kuvvetli/Zayıf Asitler ve Bazlar

Bir elektrolitin (iletken çözelti) kuvveti, çözeltide kendisini oluşturan iyonlara ne kadar ayrıştığına bağlıdır. Kuvvetli elektrolit çözeltide iyonlarına tamamen ayrışırken zayıf elektrolit kısmen ayrışır. Kuvvetli/zayıf asitler ve bazlar da buna göre tanımlanır.

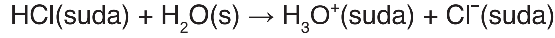
Kuvvetli asitler ve bazlar çözeltide tamamen (%100) iyonlaşır ve bunların elektriksel iletkenlikleri çok iyidir. Zayıf asitler ve bazlar kısmen iyonlaşır ve elektriksel iletkenlikleri azdır.

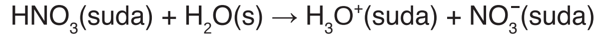
Kuvvetli asit ve bazların iyonlaşma tepkimeleri, tek yönlü ok işareti (⟶) ile zayıf asit ve bazların iyonlaşma tepkimeleri, çift yönlü ok işareti (⇌) ile belirtilir.

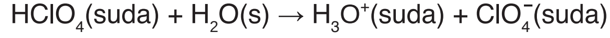
Bilgi Kutusu

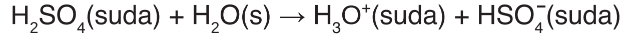
Brönsted-Lowry asit baz tanımında aside karşı baz, baza karşı asit gibi davranan maddeler amfoter olarak tanımlanır. Arrhenius asit baz tanımı amfoterliği açıklayamaz.

HCl, HNO_3, $HClO_4$ ve H_2SO_4 gibi kuvvetli asitlerin iyonlaşma tepkimeleri tek yönlü ok işareti ile gösterilir.

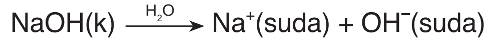

$HCl(suda) + H_2O(s) \rightarrow H_3O^+(suda) + Cl^-(suda)$

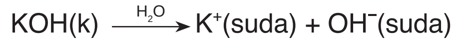

$HNO_3(suda) + H_2O(s) \rightarrow H_3O^+(suda) + NO_3^-(suda)$

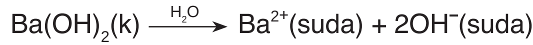

$HClO_4(suda) + H_2O(s) \rightarrow H_3O^+(suda) + ClO_4^-(suda)$


$H_2SO_4(suda) + H_2O(s) \rightarrow H_3O^+(suda) + HSO_4^-(suda)$

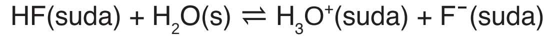
NaOH, KOH, $Ba(OH)_2$ gibi kuvvetli bazların iyonlaşma tepkimeleri tek yönlü ok işareti ile gösterilir.

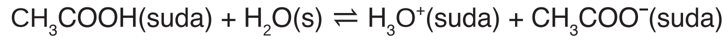

$NaOH(k) \xrightarrow{H_2O} Na^+(suda) + OH^-(suda)$


$KOH(k) \xrightarrow{H_2O} K^+(suda) + OH^-(suda)$


$Ba(OH)_2(k) \xrightarrow{H_2O} Ba^{2+}(suda) + 2OH^-(suda)$

HF, CH_3COOH, HCN gibi zayıf asitlerin iyonlaşma tepkimeleri çift yönlü ok işareti ile gösterilir.


$HF(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_3O^+(suda) + F^-(suda)$


$CH_3COOH(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_3O^+(suda) + CH_3COO^-(suda)$

$HCN(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_3O^+(suda) + CN^-(suda)$

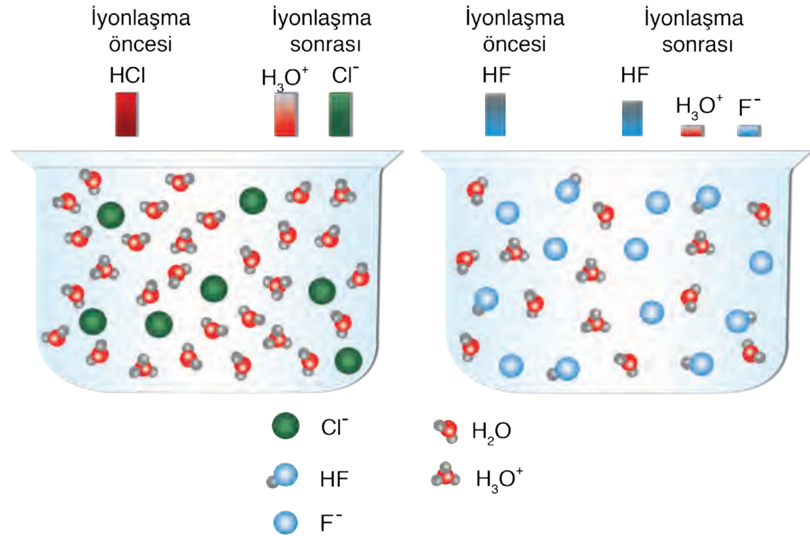
NH_3, $Be(OH)_2$, $Mg(OH)_2$ gibi zayıf bazların iyonlaşma tepkimeleri çift yönlü ok işareti ile gösterilir.

$NH_3(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons NH_4^+(suda) + OH^-(suda)$

$Be(OH)_2(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons Be^{2+}(suda) + 2OH^-(suda)$

$Mg(OH)_2(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons Mg^{2+}(suda) + 2OH^-(suda)$

HCl kuvvetli asit ve HF zayıf asidinin iyonlaşmaları Görsel 6.11'de verilmiştir.



***Görsel 6.11:** HCl kuvetli asidi ve HF zayıf asidinin iyonlaşması*

Konjuge (Eşlenik) Asit/Baz Çiftleri

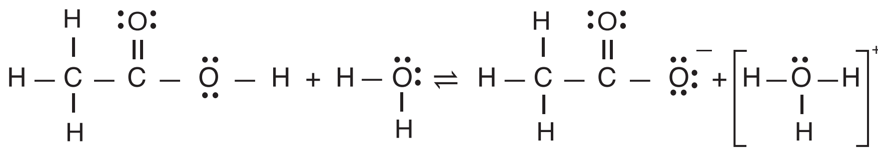
Asit ve bazların Brönsted-Lowry tanımının bir uzantısı, konjuge asit baz çifti kavramıdır. Bu kavram, bir asit ve onun konjuge bazı veya bir baz ve onun konjuge asidi olarak tanımlanabilir. Bir Brönsted-Lowry asidinin eşlenik bazı, asitten bir proton uzaklaştırıldığı zaman geride kalan türdür. Tersine konjuge asidi bir Brönsted-Lowry bazına bir proton ilave edilmesi ile oluşur. Her Brönsted-Lowry asidi bir konjuge baza, her Brönsted-Lowry bazı da bir konjuge aside sahiptir.

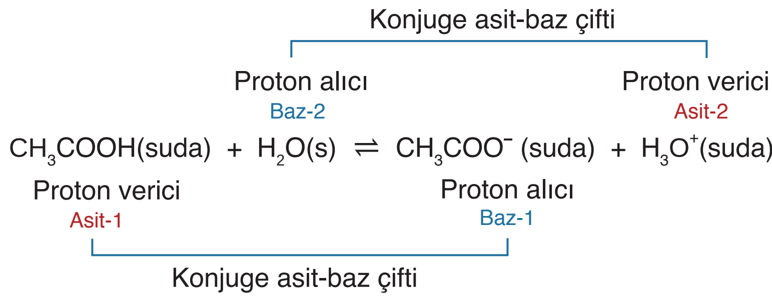
Konjuge asit-baz çiftleri (HA/A^- ve B/BH^+) arasında bir hidrojen (proton) fark vardır. Asit-baz çiftlerinde protonu fazla olan asit, protonu az olan bazdır (Tablo 6.4). Örneğin Cl^-/ HCl asit baz çiftinde Cl^- baz, HCl asit; H_2O/H_3O^+ asit baz çiftinde H_2O baz, H_3O^+ asittir.

Asetik asidin (CH_3COOH) iyonlaşma denklemi ve konjuge asit-baz çiftleri aşağıdaki gibidir.

Bilgi Kutusu

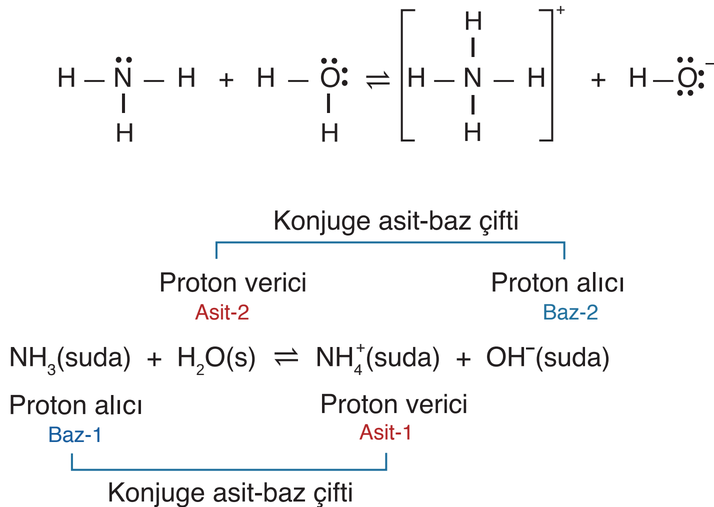
Asit ve bazların suda iyonlaşma tepkimelerinde tek yönlü ok %100 iyonlaşmayı, çift yönlü ok kısmi iyonlaşmayı gösterir.





CH_3COOH asidinin konjuge bazı CH_3COO^- iyonudur. H_2O da H_3O^+ iyonunun konjuge bazıdır.

Amonyak (NH_3) Brönsted-Lowry tanımına göre proton alma yeteneğinden dolayı baz olarak tanımlanır.



NH_3'ın konjuge asidi NH_4^+ iyonu, H_2O'un konjuge bazı OH^- iyonudur.

Tablo 6.4: *Bazı Konjuge Asit-Baz Çiftleri*

Baz	+	H^+	→	Konjuge Asidi
Cl^-	+	H^+	→	HCl
F^-	+	H^+	→	HF
ClO_4^-	+	H^+	→	$HClO_4$
HSO_4^-	+	H^+	→	H_2SO_4
SO_4^{2-}	+	H^+	→	HSO_4^-
NO_3^-	+	H^+	→	HNO_3
NH_3	+	H^+	→	NH_4^+
H_2O	+	H^+	→	H_3O^+
OH^-	+	H^+	→	H_2O
Asit	**-**	**H^+**	**→**	**Konjuge Bazı**
HCl	-	H^+	→	Cl^-
HF	-	H^+	→	F^-
$HClO_4$	-	H^+	→	ClO_4^-
H_2SO_4	-	H^+	→	HSO_4^-
HSO_4^-	-	H^+	→	SO_4^{2-}
HNO_3	-	H^+	→	NO_3^-
NH_4^+	-	H^+	→	NH_3
H_3O^+	-	H^+	→	H_2O
H_2O	-	H^+	→	OH^-

Bazı konjuge asit/baz çiftlerinin bağıl kuvvetleri Tablo 6.5'te verilmiştir.

***Tablo 6.5:** Konjuge Asit/Baz Çiftlerinin Bağıl Kuvvetleri*

Asit	Konjuge Baz
$HClO_4$ (perklorik asit)	ClO_4^- (perklorat iyonu)
HI (hidroiyodik asit)	I^- (iyodür iyonu)
HBr (hidrobromik asit)	Br^- (bromür iyonu)
HCl (hidroklorik asit)	Cl^- (klorür iyonu)
H_2SO_4 (sülfürik asit)	HSO_4^- (bisülfat iyonu)
HNO_3 (nitrik asit)	NO_3^- (nitrat iyonu)
H_3O^+ (hidronyum iyonu)	H_2O (su)
HSO_4^- (bisülfat iyonu)	SO_4^{2-} (sülfat iyonu)
HF (hidroflorik asit)	F^- (florür iyonu)
HNO_2 (nitröz asit)	NO_2^- (nitrit iyonu)
HCOOH (formik asit)	$HCOO^-$ (format iyonu)
CH_3COOH (asetik asit)	CH_3COO^- (asetat iyonu)
NH_4^+ (amonyum iyonu)	NH_3 (amonyak)
HCN (hidrosiyanik asit)	CN^- (siyanür iyonu)
H_2O (su)	OH^- (hidroksit iyonu)
H_2S (hidrojen sülfür)	HS^- (bisülfür)

Kuvvetli Asitler ($HClO_4$ – HNO_3); Zayıf Asitler (HSO_4^- – H_2S)

Asitlik kuvveti artar. $\uparrow$

Bazlık kuvveti artar. $\downarrow$

Örnek

Aşağıda verilen tepkimelerde konjuge asit/baz çiftlerini belirleyiniz.

a) $HCl(suda) + NH_3(suda) \rightarrow NH_4^+(suda) + Cl^-(suda)$

b) $HNO_3(suda) + H_2O(s) \rightarrow H_3O^+(suda) + NO_3^-(suda)$

c) $HF(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_3O^+(suda) + F^-(suda)$

ç) $NH_3(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons NH_4^+(suda) + OH^-(suda)$

d) $CN^-(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons HCN(suda) + OH^-(suda)$

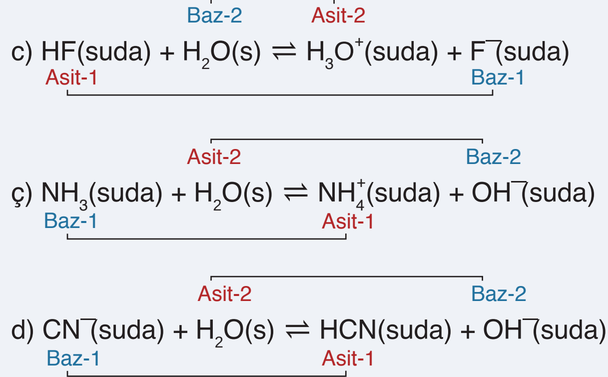
Çözüm

a) $HCl(suda) + NH_3(suda) \rightarrow NH_4^+(suda) + Cl^-(suda)$

HCl: Asit-1, NH_3: Baz-2, NH_4^+: Asit-2, Cl^-: Baz-1

b) $HNO_3(suda) + H_2O(s) \rightarrow H_3O^+(suda) + NO_3^-(suda)$

HNO_3: Asit-1, H_2O: Baz-2, H_3O^+: Asit-2, NO_3^-: Baz-1



6.15. Alıştırma

Aşağıda verilen tepkimelerde konjuge asit baz çiftlerini belirleyiniz.

a) $CH_3COOH(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_3O^+(suda) + CH_3COO^-(suda)$

b) $F^-(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons HF(suda) + OH^-(suda)$

c) $HClO_4(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_3O^+(suda) + ClO_4^-(suda)$

ç) $HCO_3^-(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_2CO_3(suda) + OH^-(suda)$

d) $SO_4^{2-}(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons HSO_4^-(suda) + OH^-(suda)$

b) Anyon ve Katyonların Asit/Baz Davranışları

Konjuge asit-baz çiftlerinde, zayıf bazların konjuge asidi olan bütün katyonlar asit gibi davranır. Bu katyonlar sulu çözeltilerinde pH değerini düşürür.

Örneğin NH_3 zayıf bir bazdır. Suyla tepkimesi

$NH_3(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons NH_4^+(suda) + OH^-(suda)$ şeklindendir.

NH_3'ın konjuge asidi NH_4^+ (amonyum) katyonudur. NH_4^+ katyonunun suyla tepkimesi,

$NH_4^+(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons NH_3(suda) + H_3O^+(suda)$ şeklindedir.

NH_4^+ katyonu, yukarıdaki tepkimeye göre zayıf asit özelliği gösterir, suyla tepkimesinde ortama proton (H^+) vererek pH değerini düşürür.

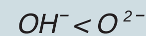
Çapı küçük ve yükü büyük olan metal katyonları (Al^{3+}, Cr^{3+}, Fe^{3+}, Bi^{3+} ve Be^{2+}) kuvvetli asitlerin eşlenik bazlarından oluşan tuzlarda asidik bir çözelti oluşturur. Pozitif yüklü Al^{3+} iyonu, elektron yoğunluğunu kendisine doğru çekerek O – H bağının polaritesini arttırır. Sonuç olarak H atomları, hidratlaşmada yer almayan su moleküllerinden daha büyük iyonlaşma eğilimi gösterir.

Periyodik sistemin 1A ve 2A grubunda bulunan metallerin katyonları ile diğer grupların +1 yüklü iyonları, sulu çözeltilerde asidik özellik göstermez. Bu metal katyonları, kendilerini çevreleyen hidratize su molekülleri üzerinde önemli bir kutuplanmaya sebep olamayacak kadar büyük boyutludur ve yükleri küçüktür. Bu katyonlar, su moleküllerinin protonlarını kolaylıkla koparamadığından asidik özellik göstermez.

Bilgi Kutusu

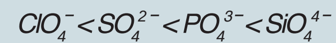
Anyonların bazlığını etkileyen en önemli faktör anyonun elektriksel yüküdür. Anyonların negatif yükünün artması bazlık kuvvetini arttırır.

Bazı anyonların bazlık kuvvetinin artışı şu şekildedir.



$OH^- < O^{2-}$

$H_2PO_4^- < HPO_4^{2-} < PO_4^{3-}$

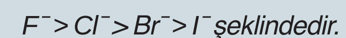


$ClO_4^- < SO_4^{2-} < PO_4^{3-} < SiO_4^{4-}$

Bilgi Kutusu

Aynı gruptaki ametallerin aynı negatif yüklü iyonlarının bazlık kuvveti iyon yarıçapının artmasıyla azalır. Çünkü aynı miktardaki elektronun daha büyük hacimde bulunmasıyla yük yoğunluğu azalır.

Örneğin F^- , Cl^- , Br^- ve I^- iyonlarının bazlıkları

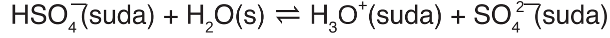


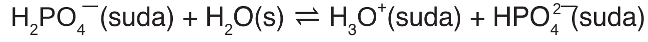
$F^- > Cl^- > Br^- > I^-$ *şeklindedir.*

Bilgi Kutusu

Asitlerin tesir değerliği, molekül başına verdikleri H^+ sayısı; bazların tesir değerlikleri, molekül başına verdikleri OH^- sayısıdır.
Organik asitlerde tesir değerliği içerdikleri karboksil (-COOH) grubu sayısı kadardır.
HCl: 1 değerli asit
H_2SO_4: 2 değerli asit
H_3PO_4: 3 değerli asit
HCOOH: 1 değerli asit
NaOH: 1 değerli baz
$Ca(OH)_2$: 2 değerli baz
$Fe(OH)_3$: 3 değerli baz
NH_3: 1 değerli baz
Asit ve bazların tesir değerliği ile kuvveti arasında bir ilişki yoktur.

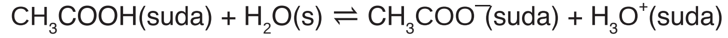
Proton (H^+), pozitif yüklü olduğundan negatif yüklü anyonu bırakması zordur. Bu nedenle asidik anyon sayısı azdır. Örneğin HSO_4^- ve $H_2PO_4^-$ anyonları asidik özellik gösterir.


$$HSO_4^-(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_3O^+(suda) + SO_4^{2-}(suda)$$


$$H_2PO_4^-(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_3O^+(suda) + HPO_4^{2-}(suda)$$

Zayıf asitlerin konjuge bazları olan bütün anyonlar, proton alıcısı olarak davranır ve bu nedenle bazik çözeltiler oluşturur.

Örneğin asetik asit (CH_3COOH) zayıf bir asittir. CH_3COOH asidinin konjuge bazı olan CH_3COO^- (asetat iyonu) suda baz olarak davranır.


$$CH_3COOH(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons CH_3COO^-(suda) + H_3O^+(suda)$$

$$CH_3COO^-(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons CH_3COOH(suda) + OH^-(suda)$$

Aynı şekilde F^- iyonu HF zayıf asidinin konjuge bazıdır. F^- iyonunun kendisi zayıf bazdır ve aşağıdaki tepkimeye göre suyu iyonlaştırır.

$$F^-(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons HF(suda) + OH^-(suda)$$

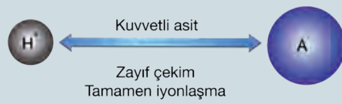
Poliprotik (çok protonlu) asitlerin tüm protonlarının ayrılmasıyla elde edilen anyonlar da sudan proton alıp çözeltiyi bazik yapar. Örneğin H_2CO_3 ve H_3PO_4 zayıf asitlerinin tüm protonlarının ayrılmasıyla oluşan CO_3^{2-} ve PO_4^{3-} iyonları sudan proton alarak çözeltiyi bazik yapar.

$$H_2O(s) + CO_3^{2-}(suda) \rightleftharpoons HCO_3^-(suda) + OH^-(suda)$$

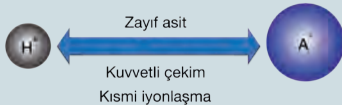
$$H_2O(s) + PO_4^{3-}(suda) \rightleftharpoons HPO_4^{2-}(suda) + OH^-(suda)$$

Bilgi Kutusu

Kuvvetli bir asitte H^+ ve A^- arasındaki çekim zayıftır ve bu da tamamen iyonlaşmayla sonuçlanır.

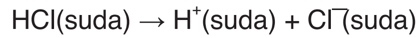


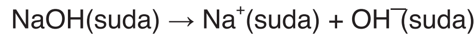
Zayıf bir asitte H^+ ve A^- arasındaki çekim kuvvetlidir ve bu çekim kısmen iyonlaşmayla sonuçlanır.



6.3.4. Asitlik/Bazlık Gücü ve Ayrışma Dengeleri

Kuvvetli asit ve bazların birbirine göre kuvvetlilikleri çok önemli değildir. Çünkü kuvvetli asit ve bazlar %100 iyonlaşır, iyonlaşma denge sabitleri sonsuz büyüklüktedir. Bu nedenle bir asit veya baz için iyonlaşma sabiti verilmiyorsa bu asit veya baz kuvvetli olarak kabul edilir. İyonlaşma tepkimeleri tek yönlü ok işareti (→) ile gösterilir. HCl, HNO_3, H_2SO_4 gibi asitler kuvvetli asit, NaOH, KOH, $Ca(OH)_2$ gibi bazlar kuvvetli bazlardır.


$$HCl(suda) \rightarrow H^+(suda) + Cl^-(suda)$$


$$NaOH(suda) \rightarrow Na^+(suda) + OH^-(suda)$$

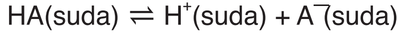
Zayıf asit ve bazlar %100 iyonlaşmaz. Suda farklı derecede iyonlaştıklarından birbirlerine göre kuvvetlilikleri önemlidir. Zayıf asit ve bazların iyonlaşma tepkimeleri denge tepkimeleridir ve çift yönlü ok işareti (⇌) ile gösterilir. HF, CH_3COOH, HCN gibi asitler zayıf asit, NH_3, $Mg(OH)_2$, $C_6H_5NH_2$ (anilin) gibi bazlar zayıf bazdır.

Genel olarak zayıf asit ve zayıf baz sırasıyla HA ve BOH ile gösterilirse sudaki iyonlaşma dengeleri ve denge sabitleri aşağıdaki gibi ifade edilir.

Bir değerli zayıf asit HA ise suda iyonlaşma dengesi

$HA(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_3O^+(suda) + A^-(suda)$ şeklinde yazılır.

Ya da basitçe aşağıdaki gibi yazılır.


$HA(suda) \rightleftharpoons H^+(suda) + A^-(suda)$

Bir zayıf asit için iyonlaşma denge ifadesi

$$K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]} \text{ ya da } K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} \text{ şeklinde yazılır.}$$

Zayıf bir **asidin iyonlaşma denge sabiti "K_a"** ile gösterilir. Belirli bir sıcaklıkta, HA asidinin kuvveti nicel olarak K_a'nin büyüklüğü ile ölçülür. K_a büyüdükçe asidin kuvveti artar. HA asidinin iyonlaşma yüzdesi ne kadar büyükse $[H_3O^+]$ ve $[A^-]$ iyon derişim değerleri büyük olacağından K_a değeri de büyük olur. Sadece zayıf asitler için K_a değerlerinden bahsedilir. Bazı zayıf asitlerin 25 °C'deki iyonlaşma sabitleri Tablo 6.6'da verilmiştir.

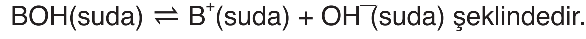
Tablo 6.6: *Bazı Zayıf Asitlerin 25 °C'deki K_a Sabitleri*

Asidin Adı	Formülü	K_a
Hidroflorik asit	HF	$7{,}1.10^{-4}$
Nitröz asit	HNO_2	$4{,}5.10^{-4}$
Asetilsalisilik asit (aspirin)	$C_9H_8O_4$	3.10^{-4}
Formik asit	HCOOH	$1{,}7.10^{-4}$
Askorbik asit	$C_6H_8O_6$	8.10^{-5}
Benzoik asit	C_6H_5COOH	$6{,}5.10^{-5}$
Asetik asit	CH_3COOH	$1{,}8.10^{-5}$
Hidrosiyanik asit	HCN	$4{,}9.10^{-10}$
Fenol	C_6H_5OH	$1{,}3.10^{-10}$
Hidrazoik asit	HN_3	$1{,}9.10^{-5}$
Kloröz asit	$HClO_2$	$1{,}1.10^{-2}$

Tablo 6.6'da çok sayıda zayıf asit ve onların 25 °C'deki K_a değerleri gösterilmiştir. Bu asitlerin tümü zayıf asit olmasına karşın kuvvetleri arasında büyük farklılıklar vardır. Örneğin HF için K_a ($7{,}1.10^{-4}$) değeri, HCN için K_a ($4{,}9.10^{-10}$) değerinin yaklaşık 1,5 milyon katıdır.

Genel olarak bir asit çözeltisinin başlangıç derişimi ve K_a değeri biliniyor ise dengedeki H^+ iyonu derişimi, pH'si ve iyonlaşma yüzdesi hesaplanabilir.

Bir değerli zayıf baz BOH'ın suda iyonlaşma dengesi



$BOH(suda) \rightleftharpoons B^+(suda) + OH^-(suda)$ şeklindedir.

Bir zayıf baz için iyonlaşma denge ifadesi

$K_b = \frac{[B^+][OH^-]}{[BOH]}$ şeklinde yazılır.

Zayıf bir **bazın iyonlaşma denge sabiti "K_b"** ile gösterilir. Belirli bir sıcaklıkta, BOH bazının kuvveti nicel olarak K_b'nin büyüklüğü ile ölçülür. K_b büyüdükçe bazın kuvveti artar. BOH bazının iyonlaşma yüzdesi ne kadar büyükse $[B^+]$ ve $[OH^-]$ iyon derişim değerleri büyük olacağından K_b değeri de büyük olur. Sadece zayıf bazlar için K_b değerlerinden bahsedilir. Bazı zayıf bazların 25 °C'deki iyonlaşma sabitleri Tablo 6.7'de verilmiştir.

Tablo 6.7: *Bazı Zayıf Bazların 25 °C'deki K_b Sabitleri*

Asidin Adı	Formülü	K_b
Etilamin	$C_2H_5NH_2$	$5,6.10^{-4}$
Metilamin	CH_3NH_2	$4,4.10^{-4}$
Amonyak	NH_3	$1,8.10^{-5}$
Piridin	C_5H_5N	$1,7.10^{-9}$
Anilin	$C_6H_5NH_2$	$3,8.10^{-10}$
Kafein	$C_8H_{10}N_4O_2$	$5,3.10^{-14}$
Üre	$(NH_2)_2CO$	$1,5.10^{-14}$

Periyodik sistemde aynı periyotta soldan sağa doğru gidildikçe ametallerin hidrojenli bileşiklerinin asitlik kuvveti artar. Aynı periyotta bulunan elementlerin elektronegatiflikleri soldan sağa doğru artar. Bu durumda hidrojenle ametal atomu arasındaki bağın polarlığı artar, suda iyonlaşma kolaylaşır ve asitlik kuvveti artar.

Örneğin periyodik sistemin 2. periyodunda bulunan N, O ve F elementlerinin hidrojen atomu ile oluşturdukları bileşikler NH_3, H_2O ve HF'dir. Bu bileşiklerin asitlik kuvvetleri arasındaki ilişki,

$$K_a: \underbrace{5,56.10^{-10}}_{NH_3} < \underbrace{1.10^{-7}}_{H_2O} < \underbrace{7,1.10^{-4}}_{HF}$$ şeklindedir.

Periyodik sistemde aynı grupta yukarıdan inildikçe ametallerin hidrojenli bileşiklerinin asitlik kuvveti artar. Yukarıdan inildikçe ametallerin, atom çapı arttığı için hidrojenle yaptığı bağın kuvveti azalır. Bu durumda hidrojenin iyonlaşması kolaylaşır ve bileşiğin asitliği artar.

Örneğin 7A grubu elementlerinin hidrojenli bileşiklerinin asitlik kuvvetleri arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

$$K_a: \underbrace{7{,}1.10^{-4}}_{HF} < \underbrace{1{,}3.10^{6}}_{HCl} < \underbrace{1.10^{8}}_{HBr} < \underbrace{1.10^{9}}_{HI}$$

7A		
F	HF	Asitlik artar. ↓
Cl	HCl	
Br	HBr	
I	HI	

Bir asidin bileşiminde hidrojenin yanında oksijen de varsa bu tür asitlere **oksiasitler** denir. Aynı elementin oksiasitlerinin oksijen sayısı arttıkça H^+ iyonunun kopması kolaylaşır ve asitlik kuvveti artar.

Bazı oksiasitlerin asitlik kuvvetlerinin sıralanışı

$HClO < HClO_2 < HClO_3 < HClO_4$

$H_2SO_3 < H_2SO_4$

$HNO_2 < HNO_3$ şeklindedir.

Merkez atomu farklı olan oksiasitlerde merkez atomun elektronegatifliği arttıkça asitlik kuvveti artar.

$$K_a: \underbrace{2{,}3.10^{-11}}_{HIO} < \underbrace{2{,}0.10^{-9}}_{HBrO} < \underbrace{2{,}9.10^{-8}}_{HClO}$$

Organik asitler (karboksilli asitler) yapılarında karboksil grubu (-COOH) bulunduran asitler olup oksiasitler grubundadır. Genel yapıları R-COOH şeklindedir. R- grubundaki karbon sayısı arttıkça asitlik kuvveti azalır.

$HCOOH > CH_3COOH > C_2H_5COOH > C_3H_7COOH$

Aynı karbon sayılı organik asitlerde karboksil grubu sayısı arttıkça asitlik kuvveti artar.

$C_2H_5COOH < CH_2(COOH)_2$

Periyodik sistemde gruplarda yukarıdan aşağı, periyotlarda sağdan sola doğru metallerin elektronegatifliğinin azalması ile bu tür bileşiklerin bazlık kuvveti artar. Bir metal atomuna hidroksit grubunun bağlanmasıyla oluşan bazlar $B(OH)_n$ genel formülü ile gösterilir. Bu bazlar B – O – H yapısındadır ve B metal atomudur. Metallerin elektronegatifliği küçük olduğundan B – O bağını oluşturan elektron çifti oksijen atomu tarafından tamamen çekilir. Bunun sonucu olarak bileşik B^+ ve OH^- iyonlarına ayrılarak baz özelliği gösterir.

Tablo 6.8'de bazı elementlerin periyodik cetveldeki yerleri verilmiştir.

Tablo 6.8: *Periyodik Sistemde 3. Periyot ve 1A Grubu Elementleri*

1A	2A		3A	
Li				
Na	Mg		Al	
K				
Rb				

Tablo 6.8'deki periyodik sistem kesitinde verilen üçüncü periyotta sıralanan Na, Mg ve Al elementlerinin – OH ile oluşturduğu bileşiklerin bazlık kuvvetleri

$NaOH > Mg(OH)_2 > Al(OH)_3$ şeklindedir.

Periyodik sistem 1A grubunda yukarıdan aşağı doğru sıralanan Li, Na, K, Rb elementlerinin –OH ile oluşturduğu bileşiklerin bazlık kuvvetleri

$RbOH > KOH > NaOH > LiOH$ şeklindedir.

Konjuge Asit/Baz İyonlaşma Sabitleri

Asit ve konjuge bazının iyonlaşma sabitleri arasındaki ilişki formik asit (HCOOH) örneği ile incelenebilir.

$$HCOOH(suda) \rightleftharpoons HCOO^-(suda) + H^+(suda)$$

$$K_a = \frac{[HCOO^-][H^+]}{[HCOOH]} \text{ şeklindedir.}$$

Konjuge baz, $HCOO^-$ (format) iyonu aşağıdaki denkleme göre su ile tepkimeye girer.

$$HCOO^-(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons HCOOH(suda) + OH^-(suda)$$

Konjuge baz için baz iyonlaşma sabiti

$$K_b = \frac{[HCOOH][OH^-]}{[HCOO^-]} \text{ şeklindedir.}$$

Konjuge asit ve konjuge baz iyonlaşma sabitinin çarpımı K_{su} sabitini verir.

$$K_a K_b = \frac{[HCOO^-][H^+]}{[HCOOH]} \cdot \frac{[HCOOH][OH^-]}{[HCOO^-]}$$

$$K_{su} = [H^+][OH^-]$$

$$HCOOH(suda) \rightleftharpoons HCOO^-(suda) + H^+(suda) \qquad K_a$$

$$HCOO^-(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons HCOOH(suda) + OH^-(suda) \qquad K_b$$

$$H_2O(s) \rightleftharpoons H^+(suda) + OH^-(suda) \qquad K_{su}$$

$$\mathbf{K_a K_b = K_{su}}$$

$$K_a = \frac{K_{su}}{K_b} \qquad K_b = \frac{K_{su}}{K_a}$$

Asit ne kadar kuvvetli ise (daha büyük K_a) konjuge bazı o kadar zayıftır (daha küçük K_b) veya tam tersi de geçerlidir.

Örneğin CH_3COOH'in konjuge bazının (CH_3COO^-) K_b değerini hesaplamak için zayıf asit olan CH_3COOH'in K_a değeri eşitlikte yerine konur. (CH_3COOH için $K_a = 1{,}8.10^{-5}$)

$$K_a K_b = K_{su} \Rightarrow 1{,}8.10^{-5} . K_b = 1.10^{-14} \Rightarrow K_b = 5{,}6.10^{-10}$$

Bilgi Kutusu

Bir asidin iyonlaşma denge sabiti (K_a) ne kadar büyük olursa suda iyonlaşma yüzdesi, H^+ derişimi ve asitlik kuvveti artar.

6.16. Alıştırma

Aşağıda verilen zayıf asitlerin K_a değerlerinden yararlanarak konjuge bazların ($HCOO^-$ ve CN^-) bazlık değerlerini karşılaştırınız.

HCOOH için $K_a = 1,7.10^{-4}$ HCN için $K_a = 4,9.10^{-10}$

İyonlaşma Yüzdesi

K_a değerinin büyüklüğü, bir asidin kuvveti hakkında bilgi verir. Asidin kuvveti için diğer bir bilgi iyonlaşma yüzdesinin hesaplanması ile elde edilir.

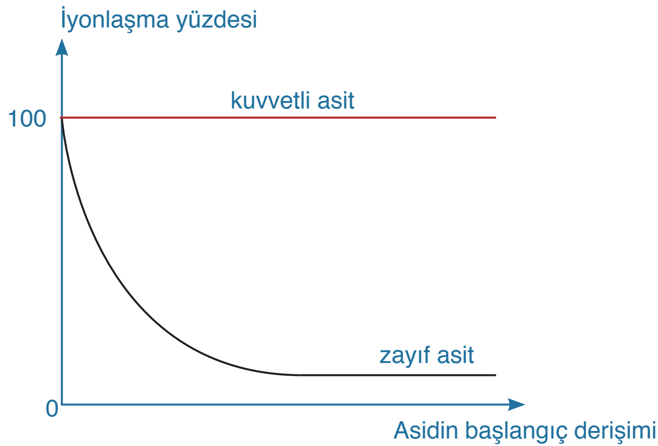
$$\text{İyonlaşma yüzdesi} = \frac{\text{İyonlaşan } [H^+] \text{ derişimi}}{\text{Asidin başlangıç derişimi}} .100$$

Asidin kuvveti arttıkça iyonlaşma yüzdesi de artar. Tek protonlu HA asidi için iyonlaşan asit derişimi, dengedeki A^- iyonlarının ya da H^+ iyonlarının derişimine eşittir. Buna göre iyonlaşma yüzdesi

$$\text{İyonlaşma yüzdesi} = \frac{[H^+]}{[HA]} .100$$ şeklinde hesaplanır.

Burada $[H^+]$, dengedeki derişim ve [HA] başlangıç derişimidir.

Zayıf bir asidin iyonlaşma derecesi, asidin başlangıç derişimine bağlıdır. Çözelti seyreldikçe iyonlaşma yüzdesi artar. Bir asit seyreltildiğinde birim hacim başına taneciklerin sayısı başlangıçtakine göre azalır. Le Chatelier İlkesi'ne göre bu seyrelme etkisini karşılamak için denge, iyonlaşmamış asitten daha çok tanecik (iyon) oluşturmak üzere H^+ ve konjuge baz yönüne kayar. Kuvvetli asitlerde iyonlaşma yüzdesi başlangıç derişimine bağlı değildir. Grafik 6.18 kuvvetli ve zayıf asidin iyonlaşma yüzdesinin asidin başlangıç derişimine bağlı grafiğidir.



Grafik 6.18: *Asidin iyonlaşma yüzdesinin başlangıç derişimine göre değişimi*

6.3.5. Kuvvetli ve Zayıf Monoprotik Asit/Baz Çözeltilerinde pH Hesaplama

Bilgi Kutusu

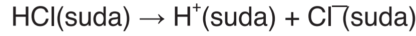
Monoprotik asit, bir tane H^+ iyonu verebilen asit; monoprotik baz, bir tane H^+ iyonu bağlayabilen bazdır. HCl, HNO_3 monoprotik asit, NaOH, KOH monoprotik bazdır.

Kuvvetli Asit/Baz Çözeltilerinde pH Hesaplama

Kuvvetli asit ve bazlar, çözeltide tamamen iyonlaştığından (hemen hemen tüm durumlarda) suyun kendi iyonlaşmasından gelen H^+ ve OH^- iyonlarının katkısı (çok küçük olduğundan) ihmal edilir. Kuvvetli bir asit çözeltisinde H_3O^+ iyonu derişimi kuvvetli asidin derişimine, kuvvetli baz çözeltisinde ise OH^- iyon derişimi kuvvetli bazın derişimine eşittir. Kuvvetli asit çözeltisinde pH hesaplanırken sadece asitten gelen H_3O^+ iyonu derişimi dikkate alınır. Kuvvetli baz çözeltisinde pOH hesaplanırken sadece bazdan gelen OH^- iyonu derişimi dikkate alınır.

Kuvvetli monoprotik (tek değerli) asitlerde $[H^+] = C_a$, kuvvetli monoprotik bazlarda $[OH^-] = C_b$ eşitlikleri kullanılarak pH ve pOH hesaplamaları yapılır. C_a asidin derişimini, C_b bazın derişimini gösterir.

Örneğin 0,1 M HCl çözeltisinde



$HCl(suda) \rightarrow H^+(suda) + Cl^-(suda)$

0,1 M 0,1 M 0,1 M

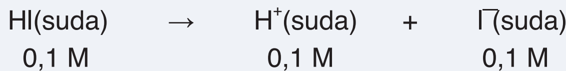
H^+ iyonu derişimi 0,1 M'dır. $pH = -\log [H^+]$ $pH = -\log 10^{-1} \Rightarrow pH = 1$ olur.

Örnek

25 °C'de 6,4 g HI katısıyla hazırlanan 500 mL sulu çözeltideki H^+ ve OH^- iyonlarının molar derişimleri ile pH ve pOH değerleri kaçtır?(H:1, I:127)

Çözüm

HI'in mol sayısı $n = \dfrac{m}{M_A} = \dfrac{6,4}{128} = 0,05$ mol $M = \dfrac{n}{V} = \dfrac{0,05}{0,5} = 0,1$



$HI(suda) \rightarrow H^+(suda) + I^-(suda)$

0,1 M 0,1 M 0,1 M

$[H^+] = 0,1$ $[OH^-] = \dfrac{1.10^{-14}}{10^{-1}} = 1.10^{-13}$ M

$pH = -\log [H^+] \Rightarrow pH = -\log 10^{-1} \Rightarrow pH = 1$ $pH + pOH = 14 \Rightarrow pOH = 14 - 1 = 13$ olur.

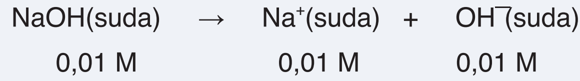
Örnek

0,01 M NaOH çözeltisinin pH ve pOH'si kaçtır?

Çözüm

NaOH kuvvetli bir baz olduğundan sulu çözeltisi tamamen iyonlaşır.

Bu durumda $[OH^-] = C_{NaOH}$'tir.



$NaOH(suda) \rightarrow Na^+(suda) + OH^-(suda)$

0,01 M 0,01 M 0,01 M

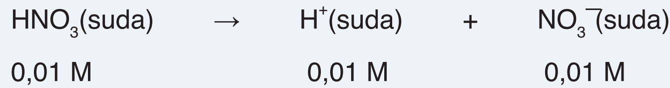
$[OH^-] = 0,01$ M pOH= -log $[OH^-]$ pOH = -log 10^{-2} $\Rightarrow$ pOH = 2

pH + pOH = 14 $\Rightarrow$ pH = 14 - 2 = 12 olur.

Örnek

0,01 M 100 mL HNO_3 çözeltisine 900 mL su eklendiğinde çözeltinin pH değeri kaç olur?

Çözüm



$HNO_3(suda) \rightarrow H^+(suda) + NO_3^-(suda)$

0,01 M 0,01 M 0,01 M

100 mL HNO_3 çözeltisine 900 mL su eklenince derişimi

$M_1 V_1 = M_2 V_2 \Rightarrow 0,01.100 = M_2.1000 \Rightarrow M_2 = 10^{-3}$ M olur.

H^+ iyon derişimi asidin derişimine eşittir.

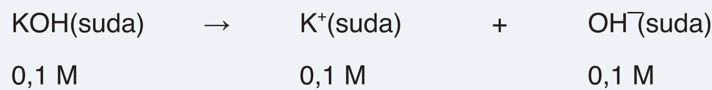
$[H^+] = 10^{-3}$ M $\Rightarrow$ pH = -log $[H^+]$ $\Rightarrow$ pH = -log 10^{-3} $\Rightarrow$ pH = 3 olur.

Örnek

Sabun yapımında kullanılan 1,12 g KOH 200 mL çözeltide çözünüyor. Bu çözeltinin pH'si kaçtır? (KOH:56)

Çözüm

$n = \frac{m}{M_A}$ $n = \frac{1,12}{56} = 0,02$ mol $M = \frac{n}{V} = \frac{0,02}{0,2} = 0,1$ M KOH



$KOH(suda) \rightarrow K^+(suda) + OH^-(suda)$

0,1 M 0,1 M 0,1 M

$[OH^-] = 10^{-1}$ M $\Rightarrow$ pOH = -log 10^{-1} pOH = 1 pH = 14-1 = 13 olur.

6.17. Alıştırma

25 °C'de HNO_3 asidinin 0,025 M'lık sulu çözeltisindeki $[H^+]$,$[OH^-]$ ve $[NO_3^-]$ derişimleri kaç molardır?

6.18. Alıştırma

25 °C'de pH'si 12 olan KOH çözeltisinin 2 litresinde kaç gram KOH çözünür? (H:1, O:16, K:39)

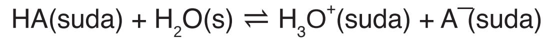
Bilgi Kutusu

Zayıf asit ve baz çözeltilerinde H^+ ve OH^- derişimleri denge bağıntısından hesaplanır.

Zayıf Asit/Baz Çözeltilerinde pH Hesaplama

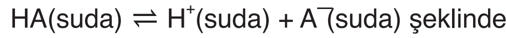
Zayıf asit ve bazlar, suda az iyonlaşır. Asidin veya bazın sadece molar derişiminin bilinmesiyle H^+ veya OH^- iyonlarının molar derişimi hesaplanamaz. Zayıf asit ve baz çözeltilerinde pH ve pOH hesabı yapılabilmesi için asidin veya bazın molar derişimi ile iyonlaşma yüzdesi veya iyonlaşma sabitlerinin (K_a veya K_b) bilinmesi gerekir. Sonuç olarak zayıf asit ve bazlarda pH ve pOH hesabı denge kuralları uygulanarak yapılır.

Bir değerli (monoprotik) zayıf HA asidinin iyonlaşma denklemi



$HA(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_3O^+(suda) + A^-(suda)$

kısa iyonlaşma denklemi



$HA(suda) \rightleftharpoons H^+(suda) + A^-(suda)$ şeklinde

iyonlaşma sabiti denklemi $K_a = \dfrac{[H^+][A^-]}{[HA]}$ şeklinde yazılır.

Bir değerli (monoprotik) zayıf BOH bazının iyonlaşma denklemi

$BOH(suda) \rightleftharpoons B^+(suda) + OH^-(suda)$ şeklinde

iyonlaşma sabiti denklemi $K_b = \dfrac{[B^+][OH^-]}{[BOH]}$ şeklinde yazılır.

25 °C saf su için $K_{su} = 1.10^{-14}$ tür. Zayıf asitlerin sulu çözeltilerinde sudan gelen H^+ iyonu ihmal edilir. Bu durumda zayıf HA asidinin iyonlaşma dengesi aşağıdaki gibi yazılır:

	HA(suda)	⇌	H^+(suda)	+	A^-(suda)
Başlangıç (M) :	c_a		----		----
Değişim (M) :	-x		+x		+x
Denge (M) :	c_a-x		x		x

$K_a = \dfrac{[H^+][A^-]}{[HA]} = \dfrac{x.x}{c_a - x}$ → İhmal edilir.

$K_a\, c_a = x^2$ $[H^+] = x$ olduğundan formülde x yerine $[H^+]$ yazılır.

$K_a\, c_a = [H^+]^2$ **$[H^+] = (K_a c_a)^{1/2}$ veya $[H^+] = \sqrt{K_a c_a}$**

Benzer şekilde baz çözeltilerinde de

$[OH^-] = (K_b\, c_b)^{1/2}$ veya $[OH^-] = \sqrt{K_b c_b}$ eşitliği yazılabilir.

Örnek

25 °C'de CH_3COOH zayıf asidinin iyonlaşma sabiti $1,6.10^{-5}$ tir. Buna göre 0,01 M CH_3COOH çözeltisindeki H^+ iyonları derişimi ve pH kaçtır? (log 4 = 0,6)

Çözüm

CH_3COOH zayıf asit çözeltisi

$CH_3COOH(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_3O^+(suda) + CH_3COO^-(suda)$ şeklinde iyonlaşır.

Çözeltideki iyonların derişimini x ile gösterilirse iyon derişimleri $[H_3O^+] = [CH_3COO^-] = x$ M olur.

	$CH_3COOH(suda)$	$\rightleftharpoons$	$H^+(suda)$	+	$CH_3COO^-(suda)$
Başlangıç (M) :	0,01		----		----
Değişim (M) :	-x		+x		+x
Denge (M) :	0,01-x → İhmal edilir.		x		x

$$K_a = \frac{[H^+][CH_3OO^-]}{[CH_3COOH]} \Rightarrow 1,6.10^{-5} = \frac{x.x}{0,01} \Rightarrow x^2 = 16.10^{-8} \Rightarrow x = [H^+] = 4.10^{-4}\,M$$

$[H^+] = (K_a\, c_a)^{1/2}$ bağıntısında değerler yerine konularak da H^+ iyonu derişimi hesaplanır.

$$[H^+] = (1,6.10^{-5}\,.0,01)^{1/2} \Rightarrow [H^+] = (16.10^{-8})^{1/2} \Rightarrow [H^+] = 4.10^{-4}\,M$$

$$pH = -\log[H^+] \Rightarrow pH = -\log 4.10^{-4} \Rightarrow pH = -(\log 4 + \log 10^{-4}) \Rightarrow pH = -(0,6 - 4) = 3,4 \text{ olur.}$$

Örnek

25 °C'de 0,62 gram CH_3NH_2(metilamin) bileşiğinin suda çözünmesiyle hazırlanan 2 litrelik çözeltinin pH'si ve iyonlaşma yüzdesi kaçtır? (H:1, C:12, N:14, CH_3NH_2 için $K_b = 4.10^{-4}$, log 2 = 0,3)

Çözüm

CH_3NH_2 için $n = \frac{m}{M_A} = \frac{0,62}{31} = 0,02$ mol $\qquad M = \frac{n}{V} = \frac{0,02}{2} = 0,01$ M

	$CH_3NH_2(suda)$	+ $H_2O(s)$ $\rightleftharpoons$	$CH_3NH_3^+(suda)$	+	$OH^-(suda)$
Başlangıç (M) :	0,01		----		----
Değişim (M) :	-x		+x		+x
Denge (M) :	0,01-x → İhmal edilir.		x		x

$$K_b = \frac{[CH_3NH_3^+][OH^-]}{[CH_3NH_2]} \Rightarrow 4.10^{-4} = \frac{x.x}{0,01} \Rightarrow x^2 = 4.10^{-6} \Rightarrow x = [OH^-] = 2.10^{-3} M$$

$[OH^-] = (K_b\ c_b)^{1/2}$ bağıntısında değerler yerine konularak da H^+ iyonu derişimi hesaplanır.

$[OH^-] = (4.10^{-4}\ .0,01)^{1/2} \Rightarrow [OH^-] = (4.10^{-6})^{1/2} \Rightarrow [OH^-] = 2.10^{-3}$ M

$pOH = -log[OH^-] \Rightarrow pOH = -log\ 2.10^{-3} \Rightarrow pOH = -(log\ 2 + log\ 10^{-3})$

pOH = -(0,3 - 3) = 2,7

pH + pOH =14 $\Rightarrow$ pH = 14 - 2,7 = 11,3

0,01 M CH_3NH_2 bileşiğinin 2.10^{-3} moları iyonlaştığına göre

100 M X

X = 20 M ise iyonlaşma yüzdesi = %20

Örnek

25 °C'de 0,1 M HA zayıf asidinin pH'si 4 olduğuna göre iyonlaşma sabiti ve iyonlaşma yüzdesi kaçtır?

Çözüm

pH = 4 ise $[H^+] = 10^{-4}$ M

	HA(suda)	⇌	H^+(suda)	+	A^-(suda)
Başlangıç (M) :	0,1		----		----
Değişim (M) :	-10^{-4}		$+10^{-4}$		$+10^{-4}$
Denge (M) :	$0,1-10^{-4}$		$+10^{-4}$		$+10^{-4}$

$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} = \frac{10^{-4}.10^{-4}}{0,1-\underset{\text{İhmal edilir.}}{10^{-4}}} \qquad K_a = 1.10^{-7}$$

0,1 M HA asidinin 10^{-4} moları iyonlaştığına göre

100 M X

X = 0,1 M ise iyonlaşma yüzdesi = %0,1

Örnek

25 °C'de 200 mL NH_3 çözeltisinde NH_4^+ iyonlarının mol sayısı 2.10^{-4} mol olduğuna göre çözeltideki NH_3'ün derişimi, iyonlaşma yüzdesi ve çözeltinin pH'si kaçtır? (NH_3 için $K_b = 2.10^{-5}$)

Çözüm

NH_4^+ molar derişimi M = n/V $M = 2.10^{-4} / 2.10^{-1} = 10^{-3}$ M

	$NH_3(suda) + H_2O(s)$	$\rightleftharpoons$	$NH_4^+(suda)$	+	$OH^-(suda)$
Başlangıç (M) :	C		----		----
Değişim (M) :	-10^{-3}		$+10^{-3}$		$+10^{-3}$
Denge (M) :	$C-10^{-3}$		$+10^{-3}$		$+10^{-3}$

$$K_b = \frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]}$$

$$2.10^{-5} = \frac{10^{-3}.10^{-3}}{C}$$

$$C = \frac{1.10^{-5}}{2.10^{-5}} = 0,05 \text{ M } NH_3$$

İyonlaşma yüzdesi

0,05 M NH_3'ın 10^{-3} M iyonlaşırsa

100 M NH_3'ın ?

$$? = \frac{10^{-3}.100}{0,05} = \%2 \text{ olur.}$$

$[OH^-] = 10^{-3}$ M ise pOH = 3 pH = 11 olur.

6.19. Alıştırma

0,1 M HCN asidinin 25 °C'de iyonlaşma yüzdesi %0,07 olduğuna göre aynı sıcaklıkta pH ve K_a değeri kaçtır? (log7=0,8)

6.20. Alıştırma

25 °C'de BOH bazının 0,08 molü ile 100 L çözelti hazırlanıyor. BOH bazının iyonlaşma yüzdesi %0,1 olduğuna göre OH^- iyon derişimi, pOH, pH ve K_b değerleri kaçtır? (log8=0,9)

6.21. Alıştırma

25 °C'de 0,01 M 1 litre HA zayıf asit çözeltisinde % 1 iyonlaşma saptanmıştır. Buna göre çözeltinin pH'si ve K_b değeri kaçtır?

6.2. ETKİNLİK

Etkinliğin Adı: Aynı Asidin Farklı Derişimlerdeki Asitlik Sabitleri

Etkinliğin Amacı: Farklı derişimlerdeki asetik asit çözeltilerinin pH'leri ölçülerek asitlik sabitlerinin (K_a) belirlenmesi

Etkinliğin Süresi: 40 dakika

Araç ve Gereçler

- Asetik asit (CH_3COOH)
- Saf su
- Pipet
- Mezür
- Beher
- pH metre veya pH kâğıdı
- Etiket

Uygulama Aşamaları

1. 0,05 M 100 mL CH_3COOH çözeltisi hazırlayıp etiketleyiniz.
2. 0,5 M 100 mL CH_3COOH çözeltisi hazırlayıp etiketleyiniz.
3. 5 M 100 mL CH_3COOH çözeltisi hazırlayıp etiketleyiniz.
4. pH metre veya pH kâğıdı kullanarak çözeltilerin pH değerlerini belirleyerek tabloya kaydediniz.
5. Hazırlanan üç farklı çözeltinin derişimlerinden ve pH değerlerinden yararlanarak K_a değerlerini hesaplayınız. Çıkan sonuçları tabloya kaydediniz.

Çözelti	pH	Asitlik Sabiti (K_a)
0,05 M CH_3COOH çözeltisi		
0,5 M CH_3COOH çözeltisi		
5 M CH_3COOH çözeltisi		

Etkinliğin Değerlendirilmesi

Sabit sıcaklıkta farklı derişimli CH_3COOH çözeltilerinin pH değerlerinden H^+ iyon derişimleri hesaplanır ve K_a sabitleri bulunur. Bulunan K_a değerleri aynı mıdır? Değerler farklı ise nedenlerini tartışınız.

Aynı çözeltinin farklı derişimli çözeltilerinde K_a sabitleri karşılaştırılarak derişimin ayrışma sabitlerine etkisini tartışınız.

6.3.6. Tampon Çözeltiler ve Kullanım Alanları

a) Tampon Çözeltiler

Tampon çözelti, zayıf asit ve zayıf asit tuzu ya da zayıf baz ve zayıf baz tuzunun çözeltisidir. Her iki bileşen de ortamda mevcut olmalıdır. Tampon çözeltiler, konjuge asit-baz çözeltiler içerdiğinden bu çözeltilere az miktarda asit ya da baz çözeltisi eklendiğinde çözelti ortamında H^+ iyonu derişiminin değişimine direnç gösterme yeteneğine sahiptir. Çözelti pH'sinin değişimine direnç gösteren bu tür çözeltilere **tampon çözelti** denir. Dengedeki asit ve baz çözeltisinde bulunan iyonlardan birinin derişimi artarsa denge, giren tarafına doğru yani iyonlaşmanın tersi yönüne kayar. Bu duruma **ortak iyon etkisi (tamponlama)** denir.

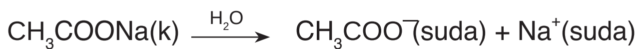
Bilgi Kutusu

Tampon çözeltiler HF/F^-, NH_4^+/NH_3 gibi konjuge asit ve baz çiftlerini içeren çözeltilerdir.

Kimyasal ve biyolojik olaylarda tampon çözeltiler çok önemli bir yer tutar. İnsan vücudundaki pH, bir akışkandan diğerine büyük ölçüde değişiklik gösterir. Örneğin midedeki mide özsuyunun pH'si yaklaşık 1,5 iken kanın pH'si yaklaşık 7,4'tür. Enzimlerin tam işleyebilmesi ve osmotik basıncın dengelenmesi için hayati öneme sahip olan pH değeri çoğu kez tamponlarla sağlanır.

Bir tampon çözelti, dışarıdan ilave edilen OH^- iyonları ile tepkimeye girecek kadar büyük derişimde asit bileşenini; yine dışarıdan ilave edilen H^+ iyonları ile tepkimeye girecek kadar yüksek derişimli bir baz bileşenini içermelidir. Ayrıca tamponun asit ve baz bileşenleri nötrleşme tepkimelerinde tamamen tüketilmemelidir. Bu koşullar, tampon çözeltinin konjuge asit-baz çifti yani bir zayıf asit ve onun konjuge bazı veya bir zayıf baz ve onun konjuge asidi ile sağlanır.

Basit bir tampon çözelti, asetik asit (CH_3COOH) ve sodyum asetatın (CH_3COONa) uygun miktarlarının suda çözülmesiyle hazırlanır. Asit ve eşlenik bazın denge derişimlerinin, başlangıçta suya eklenen CH_3COOH ve CH_3COONa derişimleri ile aynı olduğu düşünülebilir. Çünkü CH_3COOH zayıf bir asittir ve hidrolizi çok düşüktür. Asetat tuzundan gelen CH_3COO^- iyonlarının varlığı CH_3COOH'in iyonlaşmasını bastırmakta CH_3COOH'in varlığı da CH_3COO^- iyonlarının hidrolizini bastırmaktadır. Bu iki maddeyi (konjuge asit ve baz) taşıyan çözelti, ilave edilen asidi ya da bazı nötrleştirme yeteneğine sahiptir. Sodyum asetat, kuvvetli bir elektrolittir ve tamamen ayrışır.

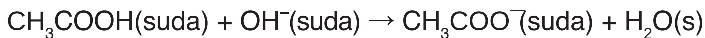


$$CH_3COONa(k) \xrightarrow{H_2O} CH_3COO^-(suda) + Na^+(suda)$$

Yukarıdaki çözeltiye asit eklenirse H^+ iyonları tampondaki eşlenik baz olan CH_3COO^- iyonları tarafından aşağıdaki eşitliğe göre tüketilecektir.

$$CH_3COO^-(suda) + H^+(suda) \rightarrow CH_3COOH(suda)$$

Tampon sistemine baz eklenirse OH^- iyonları tampondaki asit tarafından nötralleştirilecektir.

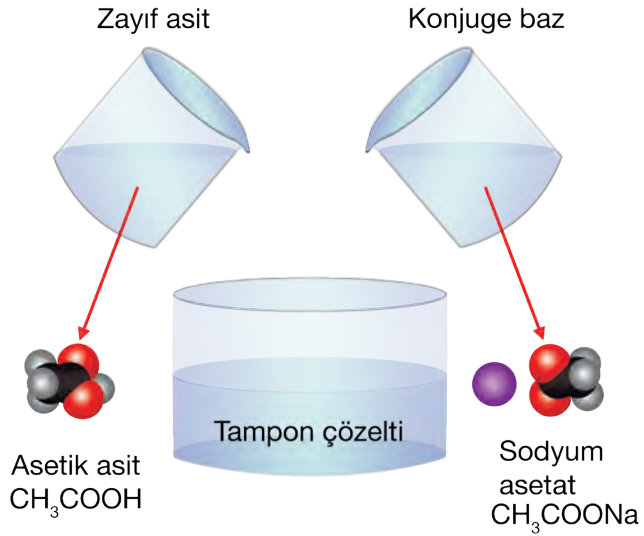


$$CH_3COOH(suda) + OH^-(suda) \rightarrow CH_3COO^-(suda) + H_2O(s)$$

Genel olarak bir tampon sistemi tuz/asit veya konjuge baz/asit şeklinde ifade edilir. Böylece sodyum asetat-asetik asit tampon sistemi CH_3COONa/CH_3COOH veya CH_3COO^-/CH_3COOH şeklinde yazılabilir (Görsel 6.12).

Tampon Çözeltilerin Özellikleri

- Tampon çözeltilerde pH değişimi ihmal edilecek kadar azdır.
- Zayıf asit ve zayıf asit tuzunun çözeltisi ya da zayıf baz ve zayıf baz tuzunun çözeltisi tampon çözeltidir.
- Bir zayıf asit ve onun tuzunun karışımı asidik tampondur (pH < 7).
- Bir zayıf baz ve onun tuzunun karışımı bazik tampondur (pH > 7).
- Tampon çözeltideki asit, eklenen bazı nötralleştirir.
- Tampon çözeltideki baz, eklenen asidi nötralleştirir.



Görsel 6.12: *CH_3COOH (zayıf asit) ve CH_3COONa (tuz) bileşiğinin tampon çözelti oluşturması*

CH_3COOH zayıf asidinin oluşturduğu tampon çözeltinin pH'si şöyle hesaplanır:

$$CH_3COOH(suda) \rightleftharpoons CH_3COO^-(suda) + H^+(suda)$$

Bu çözeltide CH_3COO^- (asetat) iyonlarının derişimi çok küçüktür. Bu nedenle CH_3COO^- iyonlarının derişimi yerine bu asidin kuvvetli bazla oluşturduğu tuzdan gelen anyonun derişimi alınır. Denge bağıntısı

$$K_a = \frac{[H^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} \qquad K_a = \frac{[H^+][Tuz]}{[Asit]} \qquad [H^+]=K_a\frac{[Asit]}{[Tuz]}$$

Zayıf baz ve tuzunun oluşturduğu tampon çözeltilerde ise

$[OH^-]= K_b\frac{[Baz]}{[Tuz]}$ şeklinde hesaplanır.

Örnek

Aşağıdaki çözeltilerden hangileri tampon çözeltidir?

a) KH_2PO_4/H_3PO_4 b) $NaClO_4/HClO_4$

c) KF/HF ç) HCOOH/HCOONa

d) HCN/NaOH e) HCl/NaCl

Çözüm

Bir tampon çözelti oluşması için bir zayıf asit ve onun tuzunun; zayıf baz ve onun tuzunun olması gerekir.

a) H_3PO_4 zayıf asit ve $H_2PO_4^-$ konjuge bazıdır. Tampon çözeltidir.

b) $HClO_4$ kuvvetli asit olduğundan konjuge bazı ClO_4^- oldukça zayıf bazdır. Tampon çözelti değildir.

c) HF zayıf asit ve F^- konjuge bazıdır. Tampon çözeltidir.

ç) HCOOH zayıf asit ve $HCOO^-$ konjuge bazıdır. Tampon çözeltidir.

d) HCN zayıf asit ve NaOH kuvvetli bazı NaCN tuzunu oluşturur. CN^- iyonu HCN zayıf asidinin konjuge bazıdır. Tampon çözeltidir.

e) HCl kuvvetli asit, NaCl nötr tuzdur. Tampon çözelti değildir.

Örnek

25 °C'de 0,1 M HX ve 0,2 M NaX çözeltilerinin eşit hacimlerinin karıştırılması ile oluşan tampon çözeltinin pH'si kaçtır? (HX için 25 °C'de $K_a = 2.10^{-6}$)

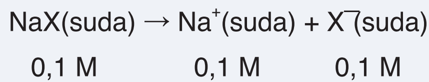
Çözüm

Çözeltiler eşit hacimde karıştırıldığında asit ve tuz çözeltilerini derişimleri yarıya iner. [HX] = 0,05 M, [NaX] = 0,1 M

	$HX(suda)$	$\rightleftharpoons$	$H^+(suda)$	+	$X^-(suda)$
Başlangıç :	0,05 M		---		---
Değişim :	-y		+y		+y
Denge :	0,05-y M		y M		y M

(y: İhmal edilir.)

Tuzun iyonlaşması



0,1 M 0,1 M 0,1 M

$$[H^+]=K_a\frac{[Asit]}{[Tuz]} \qquad [H^+] = 2.10^{-6}\frac{[0,05]}{[0,1]} = 10^{-6}\,M \qquad pH = -\log 10^{-6} \qquad pH = 6$$

Örnek

25 °C'de 0,3 M 200 mL NH_3 çözeltisi ile 0,3 M 400 mL NH_4Cl çözeltisi karıştırıldığında oluşan yeni çözeltinin pH'si kaçtır? (NH_3 için 25 °C'de $K_b = 2.10^{-5}$)

Çözüm

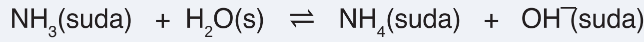
NH_3 çözeltisinin yeni derişimi $M_1V_1 = M_2V_2$ bağıntısında belirlenir.

0,3 M . 200 mL = M_2 . 600 mL

$[NH_3]$ = 0,1 M

NH_4Cl çözeltisinin yeni derişimi ise $M_1V_1 = M_2V_2$ bağıntısından 0,3 M . 400 mL = M_2 . 600 mL

$[NH_4Cl]$ = 0,2 M olarak bulunur.

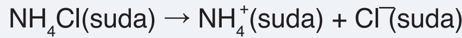


$NH_3(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons NH_4(suda) + OH^-(suda)$

	$NH_3(suda)$	$NH_4(suda)$	$OH^-(suda)$
Başlangıç :	0,1 M	---	---
Değişim :	-x	+x	+x
Denge :	0,1-x M	x M	x M

İhmal edilir.

Tuzun iyonlaşması



$NH_4Cl(suda) \rightarrow NH_4^+(suda) + Cl^-(suda)$

0,2 M 0,2 M 0,2 M

$[OH^-] = K_b \dfrac{[Baz]}{[Tuz]}$ $[OH^-] = 2.10^{-5} \dfrac{0,1}{0,2} = 10^{-5}$ M pOH = -log10^{-5} pOH = 5 $\Rightarrow$ pH = 9 olur.

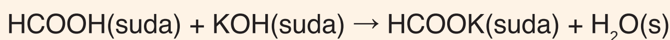
6.22. Alıştırma

0,2 mol HA zayıf asidi ve 0,3 mol NaX tuzu ile hazırlanan 1 litrelik sulu çözeltinin pH'si kaçtır? (HA için $K_a = 6.10^{-7}$, log4 = 0,6)

6.23. Alıştırma

24,6 g CH_3COONa tuzu ve 30 g CH_3COOH zayıf asidinin suda çözünmesiyle oluşan 1 litrelik çözeltide pH kaçtır? (CH_3COOH için $K_a = 1,8.10^{-5}$, log3 = 0,48, H:1, C:12, O:16, Na:23)

6.24. Alıştırma



$HCOOH(suda) + KOH(suda) \rightarrow HCOOK(suda) + H_2O(s)$

Tepkimesine göre 0,4 M 100 mL HCOOH çözeltisi ile 0,2 M 100 mL KOH çözeltisi karıştırılıyor. Oluşan tampon çözeltinin pH'si kaçtır? (HCOOH için $K_a = 2.10^{-5}$, log2 = 0,3)

b) Tampon Çözeltilerin Canlı Organizmalar ve Sağlık İçin Önemi

Tampon sistemler, canlı organizmaların varlığı için son derece önemlidir. Örneğin ağır yaralanma veya yanıklarda kişinin yaşamını sürdürmesi için en acil tehdit, kanın pH'sindeki değişmedir. Bir yaşamı kurtarmada, hekimin yapacağı öncelikli işlemlerden biri hastaya damar içi sıvılarını vermektir (Görsel 6.13). Sağlıklı yaşam için hücre sıvılarının ve kanın belirli pH değerinde olması gerekir. Enzimler, görevlerini belirli pH değerinde yerine getirebilir. Kanın normal pH'si 7,35-7,45 aralığındadır. Kanın pH'sini kontrol etmek için vücut, başlıca karbonik asit/bikarbonat iyon sistemini kullanır. Çoğu çözünmüş CO_2 yapısında bulunan kandaki bikarbonatın (HCO_3^-) karbonik aside (H_2CO_3) normal oranı 20/1'dir. HCO_3^- iyonunun derişimi H_2CO_3 derişimine göre arttırılırsa kanın pH'si yükselir. pH normal aralığın üzerine çıkarsa bu durum **alkalidoz** olarak adlandırılır. Bu oran azaldığı zaman kanın pH'si azalır. Kanın pH'si normal aralığın altına düştüğündeki duruma **asidoz** denir. Her iki durum da yaşamı tehdit eder. Bu nedenle pH dengesizliğinin sebebini belirlemek ve hemen tıbbi müdahalede bulunmak önemlidir. Kanın pH'sinin yükselmesiyle mide bulantısı ve kusma görülür. Kanın pH'sinin düşmesiyle kalp, böbrek, şeker hastalıkları, ishal ve protein kaybı oluşur.

Görsel 6.13: *Kanda pH değerini dengeleyen tampon çözelti olan serum*

Vücut, kanın pH'sini solunum ve boşaltım başta olmak üzere iki yolla korur. Karbonik asit derişimi solunum ile kontrol edilir. Nefes vererek CO_2 ve H_2CO_3 tüketilir. Asit derişimindeki bu azalma kanın pH'sini arttırır. Daha hızlı ve derin nefes alınması tüketilen CO_2 miktarını arttırır. Böylece kandaki H_2CO_3 derişimi azalır ve kanın pH'si yükselir. HCO_3^- iyon derişimi idrardaki boşaltım hızı ile kontrol edilir.

Azalan solunum, kandaki CO_2'in derişimini arttırdığından solunum asidozu oluşur. Astım, zatürre, amfizem veya duman solumak solunum asidozuna neden olur. Bu nedenle bunlardan herhangi biri kişinin nefes alma yeteneğini azaltabilir. Solunum asidozu, hastanın nefes almasına yardımcı olmak için mekanik bir vantilatör kullanılarak önlenir. Artan nefes verme CO_2'in atılımını arttırır ve kanın pH'si yükselir. Astım durumunda ilgili ilaçlardaki kimyasal maddeler daralan bronş geçişlerini açarak nefes almayı kolaylaştırabilir.

Metabolik asidoz, laktik asit ve metabolizmanın diğer asidik yan ürünlerinin aşırı miktarlarının kana geçmesi nedeniyle olur. Bu asitler, kana karıştığında H_2CO_3 oluşturmak üzere HCO_3^- iyonu ile tepkimeye girerler ve HCO_3^-/H_2CO_3 oranı daha düşük bir değere kayar. Ağır egzersiz, diyabet ve uzun süre aç kalma metabolik asidoza neden olabilir. Vücutta H_2CO_3/HCO_3^- dengesi tampon çözelti oluşturur ve şu şekilde ifade edilir:

$$CO_2(g) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_2CO_3(suda) \rightleftharpoons H^+(suda) + HCO_3^-(suda)$$

Kanın değişen pH'si CO_2 ile dengelenir.

Fosfat tamponu da $H_2PO_4^-/HPO_4^{2-}$ plazma proteinlerine etkiyerek kanın pH'sinin sabit tutulmasına katkıda bulunur. İdrarın pH'sinin 5-8 aralığında sabit kalması HPO_4^{2-} iyonunun tampon etkisindendir. Aşırı et tüketildiğinde idrarın pH değeri düşer. Çok fazla sebze tüketildiğinde ise idrarın pH değeri yükselir. İdrardaki tampon görevini HPO_4^{2-} iyonu sağlar ve pH değerini sabitleştirir.

c) Tampon Çözelti Hazırlama

6.3. ETKİNLİK

Etkinliğin Adı: **Tampon Çözelti Hazırlama**

Etkinliğin Amacı: Konjuge asit/baz çifti çözeltisine (tampon çözeltiye) kuvvetli asit ve kuvvetli baz çözeltisi eklendiğinde ortamın pH'sinin değişimini gözlemleme

Etkinliğin Süresi: 40 dakika

Araç ve Gereçler

- Beher (50 ve 100 mL)
- Damlalık
- Pipet
- Spatül
- Terazi
- Saf su
- pH metre veya pH kağıdı, etiket
- CH_3COOH (asetik asit)
- CH_3COONa (sodyum asetat)
- HCl (hidroklorik asit)
- NaOH (sodyum hidroksit)

Uygulama Aşamaları

1. 1 M 100 mL CH_3COOH çözeltisi hazırlayıp etiketleyiniz.
2. 1 M 100 mL CH_3COONa çözeltisi hazırlayıp etiketleyiniz.
3. 0,1 M 20 mL HCl ve NaOH çözeltileri hazırlayıp etiketleyiniz.
4. Hazırlanan CH_3COOH çözeltisi ile CH_3COONa çözeltisini karıştırınız. Böylece tampon çözelti oluşturulur. Oluşan tampon çözeltinin pH değerini ölçüp tabloya kaydediniz.
5. Oluşan tampon çözeltiyi 50 mL'lik dört ayrı behere paylaştırıp numaralandırınız.
6. Tampon çözeltiler bulunan 1. behere 0,1 M HCl çözeltisinden 5 damla, 2. behere 0,1 M NaOH çözeltisinden 5 damla ekleyip pH değerlerini ölçünüz. Ölçümlerinizi tabloya kaydediniz.
7. 3. behere 0,1 M HCl çözeltisinden 10 damla, 4. behere 0,1 M NaOH çözeltisinden 10 damla ekleyip pH değerlerini ölçünüz. Ölçümlerinizi tabloya kaydediniz.

	Tampon Çözelti	1. Beher	2. Beher	3. Beher	4. Beher
pH					

Etkinliğin Değerlendirilmesi

Tampon çözeltilerine (CH_3COOH/CH_3COONa) kuvvetli asit ve baz eklendiğinde gerçekleşen pH değişimlerini karşılaştırarak tartışınız.

ç) Bilişim teknolojilerinden yararlanarak (animasyon, simülasyon, video vb.) tampon çözeltileri açıklayınız. İlgili görsellere Millî Eğitim Bakanlığı Eğitim Bilişim Ağı **www.eba.gov.tr** adresinden ulaşılabilir.

6.3.7. Tuz Çözeltilerinde Asitlik/Bazlık

Tuzlar, asitlerle bazların tepkimelerinden oluşan iyonik bileşiklerdir. Tuzlar, suda tamamen iyonlaşan kuvvetli elektrolitlerdir ve bazıları suyla tepkimeye girer. Tuzu oluşturan asidin veya bazın kuvvetli ya da zayıf olmasına göre oluşan tuz da asidik, bazik veya nötr olabilir. Tuz hidrolizi terimi bir tuzun katyonunun, anyonunun veya her ikisinin suyla tepkimesini belirtir. Tuz hidrolizi genellikle çözeltinin pH değerini etkiler.

a) Nötr, Asidik ve Bazik Tuzlar

Nötr Tuzlar

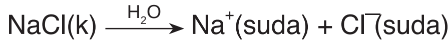
Bir alkali metal iyonu ya da toprak alkali metal iyonu (Be^{2+} hariç) ile kuvvetli bir asidin konjuge bazını (Cl^-, Br^-, NO_3^- gibi) içeren tuzlar, önemli ölçüde hidroliz olmaz ve bu çözeltilerin nötr olduğu söylenir. Kuvvetli asitlerle kuvvetli bazların oluşturduğu tuzlar nötr tuzlardır.

Bilgi Kutusu

Kuvvetli asit anyonları ve kuvvetli baz katyonları su ile hidroliz olmaz.

Örneğin HCl kuvvetli asidi ile NaOH kuvvetli bazının tepkimesinden oluşan NaCl nötr tuzdur. NaCl suda çözündüğünde tamamen iyonlarına ayrışır.

$$HCl(suda) + NaOH(suda) \rightarrow NaCl(suda) + H_2O(s)$$



$$NaCl(k) \xrightarrow{H_2O} Na^+(suda) + Cl^-(suda)$$

Tuzun çözünmesi ile oluşan hidratize Na^+ iyonu, ne H^+ iyonu verir ne de alır. Cl^- iyonu kuvvetli bir asit olan HCl'in konjuge bazıdır ve H^+ iyonlarına karşı ilgisizdir. Sonuç olarak Na^+ ve Cl^- iyonlarını içeren bir çözeltinin pH'si 7 olup bu çözelti nötrdür.

Örneğin HCl, HNO_3 ve H_2SO_4 kuvvetli asitleriyle NaOH, KOH ve $Ca(OH)_2$ kuvvetli bazlarının oluşturacağı tuzlar nötr tuzlardır (Tablo 6.9).

***Tablo 6.9:** Bazı Nötr Tuzların Oluşumu*

		Kuvvetli Bazlar		
		NaOH	**KOH**	**$Ca(OH)_2$**
Kuvvetli Asitler	**HCl**	NaCl	KCl	$CaCl_2$
	HNO_3	$NaNO_3$	KNO_3	$Ca(NO_3)_2$
	H_2SO_4	Na_2SO_4	K_2SO_4	$CaSO_4$

Asidik Tuzlar

Kuvvetli bir asit ile zayıf bir bazdan oluşan tuzlar, suda çözündüğünde çözelti asidik olur. Bu tür tuzlar asidik tuzlardır.

Örneğin HCl kuvvetli asidi ile NH_3 zayıf bazının tepkimesinden oluşan NH_4Cl asidik tuzdur. NH_4Cl suda çözündüğünde tamamen iyonlarına ayrışır. Oluşan çözelti asidik özellik gösterir.

$HCl(suda) + NH_3(suda) \rightarrow NH_4Cl(suda)$

$NH_4Cl(k) \xrightarrow{H_2O} NH_4^+(suda) + Cl^-(suda)$

Tepkimesine göre oluşan Cl^- iyonu, bir kuvvetli asit (HCl) anyonu olduğundan H^+ iyonlarına karşı ilgisizdir. NH_4^+ (amonyum) iyonu zayıf baz olan NH_3'ın zayıf konjuge asididir. Asidik tuzun katyonu (NH_4^+) su ile hidroliz sonucu hidronyum iyonu (H_3O^+) oluşturur.

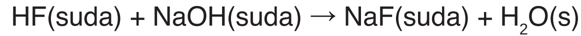
Bilgi Kutusu

Zayıf bazların konjuge asitlerinin yükü büyük, iyon yarıçapı küçük olan metal katyonlarının tuzları asidik özellik gösterir.

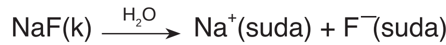
Bazik Tuzlar

Kuvvetli bir baz ile zayıf bir asitten oluşan tuzlar, suda çözündüğünde çözelti bazik olur. Bu tür tuzlar bazik tuzlardır.

Örneğin HF zayıf asidi ile NaOH kuvvetli bazının tepkimesinden oluşan NaF bazik tuzdur. NaF suda çözündüğünde tamamen iyonlarına ayrışır. Oluşan çözelti bazik özellik gösterir.



$HF(suda) + NaOH(suda) \rightarrow NaF(suda) + H_2O(s)$



$NaF(k) \xrightarrow{H_2O} Na^+(suda) + F^-(suda)$

Tepkimesine göre oluşan Na^+ iyonu, bir kuvvetli bazın (NaOH) anyonu olduğundan H^+ iyonlarına karşı ilgisizdir. F^- (florür) iyonu zayıf asit olan HF'in zayıf konjuge bazıdır. Bazik tuzun anyonu (F^-) su ile hidroliz sonucu hidroksit iyonu (OH^-) oluşturur (Tablo 6.10).

Tablo 6.10: *Tuzların Hidrolizi*

Asit	Baz	Tuz	
Kuvvetli asit	Kuvvetli baz	Nötr tuz	Hidroliz olmaz.
Kuvvetli asit	Zayıf baz	Asidik tuz	Hidroliz olur.
Zayıf asit	Kuvvetli baz	Bazik tuz	Hidroliz olur.

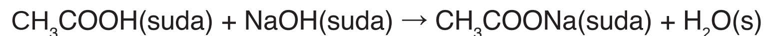
Bilgi Kutusu

Zayıf asitlerin konjuge bazlarını içeren tuzlar, bazik özellik gösterir.

b) Bazik Çözeltiler Oluşturan Tuzlar

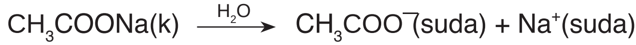
Bir iyonun su ile tepkimeye girerek H_3O^+ veya OH^- iyonu oluşturmasına **hidroliz** denir. Kuvvetli bir bazla zayıf bir asidin oluşturduğu tuzların sulu çözeltisi baziktir. Bazik tuzların anyonu su ile tepkime vererek OH^- iyonu oluşturur.

CH_3COOH zayıf asidi ile NaOH kuvvetli bazının çözeltilerinin tepkimesinden oluşan CH_3COONa (sodyum asetat) tuzu bazik tuzdur.



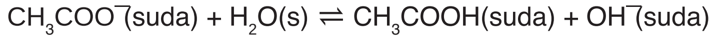
$CH_3COOH(suda) + NaOH(suda) \rightarrow CH_3COONa(suda) + H_2O(s)$

Sodyum asetat tuzu suda iyonlarına ayrılır.



$$CH_3COONa(k) \xrightarrow{H_2O} CH_3COO^-(suda) + Na^+(suda)$$

Bazik tuzun anyonu (CH_3COO^-) suyla tepkimeye girerek hidroliz olur ve OH^- iyonu oluşturur. Hidroliz tepkimesi denge tepkimesidir.



$$CH_3COO^-(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons CH_3COOH(suda) + OH^-(suda)$$

$$K_h = \frac{[CH_3COOH]\,[OH^-]}{[CH_3COO^-]}$$ (K_h; hidroliz denge sabitidir.)

Hidroliz tepkimesi sonucunda OH^- iyonları oluştuğu için CH_3COONa çözeltisi baziktir.

c) Asidik Çözeltiler Oluşturan Tuzlar

NH_3 zayıf baz ile HCl kuvvetli asit çözeltilerinin tepkimesinden oluşan NH_4Cl (amonyum klorür) tuzu asidik tuzdur.

$$NH_3(suda) + HCl(suda) \rightarrow NH_4Cl(suda)$$

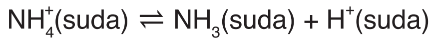
Amonyum klorür tuzu suda iyonlarına ayrılır.

$$NH_4Cl(k) \xrightarrow{H_2O} NH_4^+(suda) + Cl^-(suda)$$

Asidik tuzun katyonu (NH_4^+) suyla tepkimeye girerek hidroliz olur ve H_3O^+ iyonu oluşturur. Hidroliz tepkimesi denge tepkimesidir.

$$NH_4^+(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons NH_3(suda) + H_3O^+(suda)$$

Bu tepkime daha basit olarak da yazılabilir.



$$NH_4^+(suda) \rightleftharpoons NH_3(suda) + H^+(suda)$$

$$K_h = \frac{[NH_3]\,[H^+]}{[NH_4^+]}$$

Hidroliz tepkimesi sonucunda H^+ iyonları oluştuğu için NH_4Cl çözeltisi asidiktir.

Zayıf asit ile zayıf bazdan oluşan tuzların hem katyonu hem de anyonu suyla tepkime verir. Bu tip tuzların asidik, bazik ya da nötr karakterde olması zayıf asit ya da zayıf bazın iyonlaşma sabitlerine (bağıl kuvvetlerine) bağlıdır.

- Anyon için K_b katyon için K_a değerinden daha büyükse ($K_b > K_a$), anyon katyondan daha büyük oranda hidroliz olacağı için çözelti bazik olur.
- Anyon için K_b katyon için K_a değerinden daha küçükse ($K_a > K_b$), anyon katyondan daha küçük oranda hidroliz olacağı için çözelti asidik olur.
- Anyon için K_b katyon için K_a değerine yaklaşık veya eşitse ($K_b \cong K_a$), anyon ve katyon eşit oranda hidroliz olacağı için çözelti nötr olur.

Bazı anyonlar, hem asit hem de bazik (amfoter) özellik gösterir. Örneğin HSO_4^- (bisülfat) iyonunun su ile tepkimesi (hidrolizi) sonucu oluşan çözelti asidik mi yoksa bazik midir?

$$HSO_4^-(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_3O^+(suda) + SO_4^{2-}(suda) \qquad K_a = 1,3.10^{-2}$$

$$HSO_4^-(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_2SO_4(suda) + OH^-(suda) \qquad K_b = \text{çok küçük}$$

Tepkimelerindeki K_a ve K_b değerleri karşılaştırılırsa $K_a > K_b$ olduğu görülür. HSO_4^- iyonu asidik özellik gösterir.

ç) Farklı Asidik Tuzların pH Değerleri

6.4. ETKİNLİK

Etkinliğin Adı: **Farklı Asidik Tuzların pH Değerleri**

Etkinliğin Amacı: Amonyum klorür (NH_4Cl) ve Sodyum bisülfat ($NaHSO_4$) tuzlarının pH değerlerinin belirlenmesi

Etkinliğin Süresi: 40 dakika

Araç ve Gereçler

- Beher (200 mL)
- Mezür
- Cam baget
- Spatül
- Terazi
- Saf su
- pH metre veya pH kağıdı
- Etiket
- NH_4Cl (Amonyum klorür)
- $NaHSO_4$ (Sodyum bisülfat)

Uygulama Aşamaları

1. 1 M 100 mL NH_4Cl çözeltisi hazırlayıp etiketleyiniz.
2. 2 M 100 mL NH_4Cl çözeltisi hazırlayıp etiketleyiniz.
3. 1 M 100 mL $NaHSO_4$ çözeltisi hazırlayıp etiketleyiniz.
4. 2 M 100 mL $NaHSO_4$ çözeltisi hazırlayıp etiketleyiniz.
5. Farklı derişimlerde hazırlanan NH_4Cl ve $NaHSO_4$ çözeltilerinin pH değerlerini ölçerek tabloya kaydediniz.

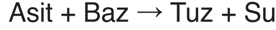
	1 M NH_4Cl	2 M NH_4Cl	1 M $NaHSO_4$	2 M $NaHSO_4$
pH				

Etkinliğin Değerlendirilmesi

NH_4^+ iyonu için $K_a = 5{,}9.10^{-6}$, HSO_4^- iyonu için $K_a = 1{,}3.10^{-2}$ olduğuna göre etkinlik sonucu belirlenen pH değerleri ile K_a değerleri arasındaki ilişkiyi karşılaştırınız. NH_4^+ ve HSO_4^- iyonları için K_a değeri büyüdüğünde asitlik değeri ve pH değeri nasıl değişir?

6.3.8. Kuvvetli Asit/Baz Çözeltilerinde Titrasyon

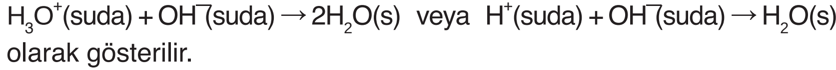
Asit ile baz çözeltileri karıştırılırsa asit ve bazlar arasında meydana gelen tepkimeden genellikle bir tuz ve su oluşur. Sulu ortamda gerçekleşen asit ve baz tepkimelerine **nötralleşme** denir.



Asit + Baz → Tuz + Su

Asit ve baz çözeltileri karıştırıldığında asitten gelen H^+ iyonu ile bazdan gelen OH^- iyonu etkileşerek su oluşturur.

Nötralleşme tepkimesi



$H_3O^+(suda) + OH^-(suda) \rightarrow 2H_2O(s)$ veya $H^+(suda) + OH^-(suda) \rightarrow H_2O(s)$

olarak gösterilir.

Bir çözeltinin nötr olması için H^+ ve OH^- iyonlarının mol sayılarının eşit olması gerekir. Çözeltide $\mathbf{n_{H^+} = n_{OH^-}}$ ise çözelti nötrdür. Nötr çözeltilerde pH = 7'dir.

Kuvvetli bir asit ile kuvvetli bir baz tam nötralleştiğinde asit ve bazın molaritesi, hacmi ve tesir değeri ile ilgili aşağıdaki bağıntı yazılabilir:

$\mathbf{M_A\, V_A\, Td_A = M_B\, V_B\, Td_B}$

Bu bağıntıda

M_A : Asidin molaritesi, M_B: Bazın molaritesi

V_A : Asidin hacmi, V_B: Bazın hacmi

Td_A : Asidin tesir değeri, Td_B: Bazın tesir değeridir.

Örnek

0,4 M 300 mL HCl çözeltisini tam nötralleştirmek için 0,2 M KOH çözeltisinden kaç mL kullanılmalıdır?

Çözüm

HCl ve KOH'in tesir değeri 1'dir.

$M_A\, V_A\, Td_A = M_B\, V_B\, Td_B$ $\quad 0,4 \,.\, 300 \,.\, 1 = 0,2 \,.\, V_B \,.\, 1$ $\quad V_B = 600$ mL

Örnek

0,25 M NaOH çözeltisinin 400 mL'sini tamamen nötralleştirmek için 100 mL H_2SO_4 çözeltisi kullanıldığına göre H_2SO_4 çözeltisinin derişimi kaç molardır?

Çözüm

H_2SO_4'in tesir değeri 2 ve NaOH'in tesir değeri 1'dir.

$M_A\, V_A\, Td_A = M_B\, V_B\, Td_B$ $\quad M_A \,.\, 100 \,.\, 2 = 0,25 \,.\, 400 \,.\, 1$ $\quad M_A = 0,5$ M

6.25. Alıştırma

pH = 2 olan HBr çözeltisinin 100 mL'sine 1000 mL KOH eklenince tam nötralleşme gerçekleşmektedir. Başlangıçtaki KOH çözeltisinin pH'si kaçtır?

Asit ve baz çözeltileri karıştırıldığında tam nötralleşme gerçekleşmiyorsa asitten gelen H^+ iyonları ile bazdan gelen OH^- iyonları nötralleştirilir. Kalan iyon üzerinden çözeltinin pH değeri hesaplanır.

Örnek

0,8 M 200 mL HNO_3 çözeltisi ile 0,6 M 200 mL KOH çözeltisi karıştırılıyor. Karışımın pH değeri kaçtır?

Çözüm

HNO_3 için $\quad M = \frac{n}{V} \Rightarrow 0{,}8\ M = \frac{n}{0{,}2L} \Rightarrow n = 0{,}16\ mol$

$HNO_3(suda) \rightarrow H^+(suda) + NO_3^-(suda)$ tepkimesine göre oluşan H^+ iyonu da 0,16 moldür.

KOH için $\quad M = \frac{n}{V} \Rightarrow 0{,}6\ M = \frac{n}{0{,}2L} \Rightarrow n = 0{,}12\ mol$

$KOH(suda) \rightarrow K^+(suda) + OH^-(suda)$ tepkimesine göre oluşan OH^- iyonu da 0,12 moldür.

		$H^+(suda)$	+	$OH^-(suda)$	$\rightarrow$	$H_2O(s)$
Başlangıç	:	0,16 mol		0,12 mol		
Değişim	:	-0,12 mol		-0,12 mol		
Kalan	:	0,04 mol		-------		

$[H^+] = \frac{n}{V} = \frac{0{,}04mol}{0{,}4L} = 0{,}1\ M \qquad pH = -log10^{-1} \qquad pH = 1$

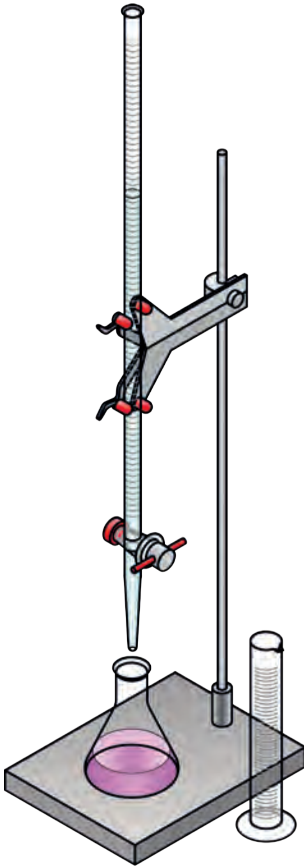
6.26. Alıştırma

100 mL 1 M H_2SO_4 çözeltisi ile 300 mL 0,8 M KOH çözeltisi karıştırılıyor. Karışımın pH değeri kaçtır?

Titrasyon

Derişimi bilinmeyen asit ya da baz çözeltisi derişiminin, derişimi bilinen asit ya da baz çözeltisi ile nötralleştirilmesinden yararlanılarak bulunmasına dayanan yönteme **titrasyon** denir. Titrasyonda dönüm noktası, çözeltideki indikatörlerin renk değişimiyle belirlenir.

Bir titrasyonda nötralleştirilecek çözeltilerden biri, örneğin asit çözeltisi bir erlene konur ve üzerine birkaç damla asit-baz indikatörü çözeltisi eklenir. Titrasyonda kullanılan diğer çözelti (baz), bir bürete doldurulur ve bu çözelti **titrant** olarak adlandırılır (Görsel 6.14).



Görsel 6.14: *Titrasyon düzeneği*

Titrant, asit çözeltisine başlangıçta hızlı, dönüm noktasına yaklaştıkça damla damla eklenir. **Dönüm noktası** hem asit hem de bazın tükendiği, indikatörün renk değiştirdiği noktadır.

Dönüm noktası, asit-baz indikatörünün renk değişimi ile belirlenir. İndikatörün dönüm noktası, nötralleşmenin eşdeğerlik noktası ile çakışmalıdır.

Titrasyon için hacmi ve derişimi belli bir asit ya da baz çözeltisi alınır. Büret, bu çözelti ile doldurulur. Erlene hacmi bilinen fakat derişimi bilinmeyen asit ya da baz çözeltisi konur. Erlendeki çözeltiye asit-baz titrasyonunu incelemek için birkaç damla indikatör ilave edilir veya pH metre daldırılır. İndikatör, renk değiştirerek çözeltinin asit ya da baz özellikte olmasına göre nötralleşme anının gözlenmesini sağlar.

Büretin musluğu açılarak içindeki çözelti, yavaş yavaş erlendeki çözeltiye damlatılır ve erlen hafifçe çalkalanır. Damlatma işlemine, çözeltinin renginde bir değişim oluncaya ya da pH metre 7'yi gösterinceye kadar devam edilir. Renk değişim anında büretin musluğu kapatılır.

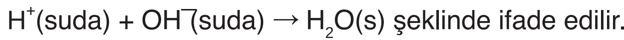
Büretteki sarfiyat belirlendikten sonra derişimi bilinmeyen asit ya da baz çözeltisinin derişimi $M_A\ V_A\ Td_A = M_B\ V_B\ Td_B$ bağıntısından hesaplanır.

Derişimi Bilinen Kuvvetli Asidin (HCl) Kuvvetli Bazla (NaOH) Titrasyonu

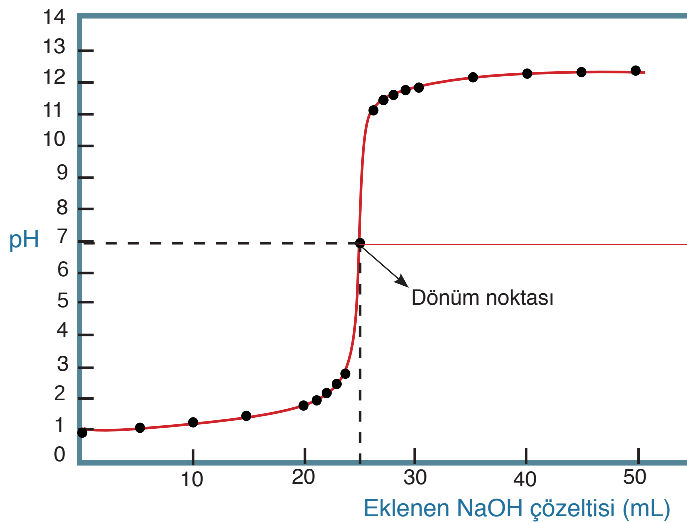
Kuvvetli asit olan HCl ile kuvvetli baz olan NaOH arasındaki tepkime aşağıdaki gibi ifade edilir:

$HCl(suda) + NaOH(suda) \rightarrow NaCl(suda) + H_2O(s)$

ve bu tepkimenin net iyon denklemi



$H^+(suda) + OH^-(suda) \rightarrow H_2O(s)$ şeklinde ifade edilir.



Grafik 6.19: *Kuvvetli asit ve baz titrasyonunda pH değişimi*

Tablo 6.11: *Eklenen NaOH Çözeltisinin Hacmi ile pH Değişimi*

Eklenen NaOH Çözeltisinin Hacmi (mL)	pH
0.0	1.00
5.0	1.18
10.0	1.37
15.0	1.60
20.0	1.95
22.0	2.20
24.0	2.69
25.0	7.00
26.0	11.29
28.0	11.75
30.0	11.96
35.0	12.22
40.0	12.36
45.0	12.46
50.0	12.52

25 mL 0,1 M HCl çözeltisi içeren bir erlene 0,1 M NaOH çözeltisinin (bir büretten) eklenmesiyle oluşan titrasyonun pH değişimi Grafik 6.19'da ve Tablo 6.11'de gösterilmektedir.

NaOH ilavesinden önce asidin pH değeri –log(0,1), veya 1,00 olarak verilir. NaOH eklendiğinde ilk önce çözeltinin pH'si yavaşça artar. Dönüm noktası yakınında pH keskin bir şekilde artmaya başlar ve dönüm noktasında (yani eşdeğer miktarda asit ve baz tepkimeye girdiğinde) grafikteki eğri, hemen hemen dik bir şekilde yükselir. Bir kuvvetli asit-baz titrasyonunda hem hidrojen iyonu derişimi hem de hidroksit iyonu derişimi dönüm noktasında çok küçüktür (yaklaşık 1.10^{-7} M). Bu nedenle bir damla bazın eklenmesi, $[OH^-]$ ve çözeltinin pH değerinin büyük ölçüde artmasına neden olabilir. Dönüm noktasından sonra NaOH ilavesiyle pH değeri yine yavaşça artar.

Kuvvetli bir asidin kuvvetli bir bazla titrasyon özeti

- Başlangıç pH'si titre edilen kuvvetli asidin pH'sidir.
- Dönüm noktası öncesi H_3O^+iyonu fazladır. $[H_3O^+]$ hesaplanırken eklenen OH^-mol sayısı başlangıçtaki H_3O^+mol sayısından çıkarılıp toplam hacme bölünür.
- Dönüm noktasında hiçbir tepkenin fazlası yoktur ve pH = 7'dir.
- Dönüm noktasından sonra OH^- iyonu fazla miktardadır. $[OH^-]$ hesaplanırken başlangıçtaki H_3O^+ mol sayısı eklenen OH^- mol sayısından çıkarılıp toplam hacme bölünür.

Çözeltinin pH'si titrasyonun her aşamasında hesaplanabilir.

- 25 mL 0,1 M HCl üzerine 10 mL 0,1 M NaOH ilavesinden sonra çözeltinin toplam hacmi 35 mL olur. 10 mL'lik çözeltide NaOH ve HCl'in mol sayısı

NaOH için $M = \frac{n}{V} \Rightarrow 0,1\ M = \frac{n}{0,01 L} \Rightarrow n = 0,001 = 1.10^{-3}$ mol

HCl için $M = \frac{n}{V} \Rightarrow 0,1\ M = \frac{n}{0,025\ L} \Rightarrow n = 0,0025 = 2,5.10^{-3}$ moldür.

Bu durumda kısmi nötralleşmeden sonra ortamda kalan HCl'in miktarı $2,5.10^{-3} - 1.10^{-3} = 1,5.10^{-3}$ moldür. 35 mL çözeltideki H^+ iyonu derişimi

$[H^+] = \frac{n}{V} \Rightarrow [H^+] = \frac{1,5.10^{-3}}{0,035} = 0,0429$ M pH = -log0,0429 = 1,37'dir.

- 25 mL 0,1 M HCl üzerine 25 mL 0,1 M NaOH ilavesinden sonra nötralleşme tepkimesi tamamlandığı ve oluşan tuz (NaCl) hidrolize uğramadığı için hesaplama daha basittir.

Dönüm noktasında $[H^+] = [OH^-] = 1.10^{-7}$ M ve çözeltinin pH'si 7'dir.

Bilgi Kutusu

Kuvvetli asit ve baz titrasyonunda asit ve bazın mol sayıları ile tesir değerleri çarpımları eşit olduğunda pH = 7 olur.

- 25 mL 0,1 M HCl üzerine 35 mL 0,1 M NaOH ilavesinden sonra çözeltinin toplam hacmi 60 mL olur. 60 mL'lik çözeltide NaOH ve HCl'in mol sayısı

NaOH için $M = \frac{n}{V} \Rightarrow 0{,}1M = \frac{n}{0{,}035\ L} \Rightarrow n = 0{,}0035 = 3{,}5.10^{-3}$ mol,

HCl için $M = \frac{n}{V} \Rightarrow 0{,}1M = \frac{n}{0{,}025\ L} \Rightarrow n = 0{,}0025 = 2{,}5.10^{-3}$ mol olur.

Bu durumda kısmi nötralleşmeden sonra ortamda kalan NaOH'in miktarı,

$3{,}5.10^{-3} - 2{,}5.10^{-3} = 1.10^{-3}$ moldür. 60 mL çözeltideki OH^- iyonu derişimi

$[OH^-] = \frac{n}{V} \Rightarrow [OH^-] = \frac{1.10^{-3}}{0{,}06} = 0{,}0167$ M

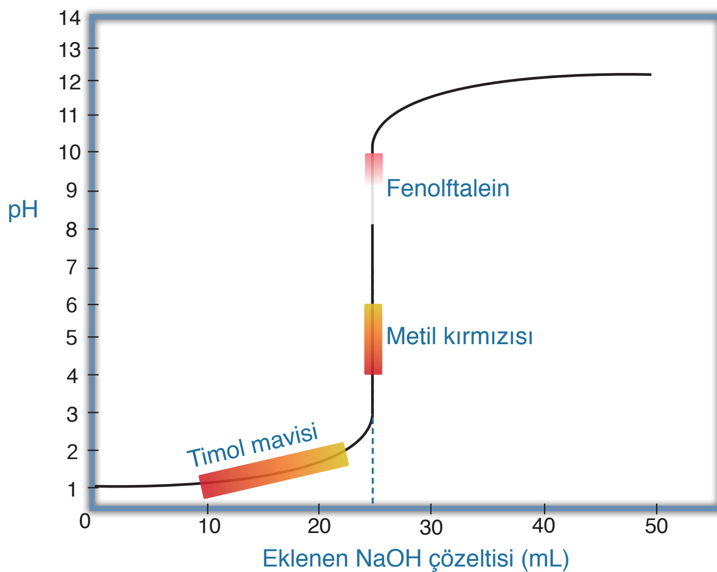
pOH = -log 0,0167 = 1,78 pH = 14-1,78 = 12,22 olur.

İndikatörler

Bir titrasyon, pH metre ya da indikatörle izlenebilir. Çözeltilerde H^+ iyonlarının derişimine bağlı olarak renk değiştiren organik boyar maddelere **indikatör** veya **ayıraç** adı verilir. İndikatörler, zayıf baz ya da zayıf asit özelliği gösterir. Organik boyar maddelerin indikatör olarak kullanılabilmesi için renk değişiminin dar bir pH aralığında olması gerekir. İndikatörler, asit ve baz çözeltilerinin pH'sinin belirlenmesinde kullanılır. Asit baz tepkimesi sonlandığında indikatör renk değiştirir. Örneğin indikatör olarak kullanılan fenolftalein asidik ortamda renksiz, bazik ortamda pembe renk oluşturur.

Bazı indikatörlerin asidik ve bazik ortamda oluşturduğu renkler ve renk değiştirdiği pH aralıkları Tablo 6.12'de verilmiştir.

Kuvvetli bir asit ile kuvvetli bir bazın titrasyon eğrisi Grafik 6.20'de verilmiştir. Bu grafiğe göre metil kırmızısı ve fenolftalein indikatörlerinin renk değişimleri eğrinin dik yamacında olduğu için bu indikatörler ile titrasyonun dönüm noktası izlenebilir. Timol mavisi indikatörü aynı amaç için kullanılamaz.



Grafik 6.20: *Bazı indikatörlerin titrasyonda renk değişimi*

Tablo 6.12: *Bazı İndikatörlerin Asidik ve Bazik Ortamda Oluşturduğu Renkler*

İndikatör	Renk		pH Aralığı
	Asit	Baz	
Timol mavisi	Kırmızı	Sarı	1,2-2,8
Bromfenol mavisi	Sarı	Mor	3,0-4,6
Metil oranj	Turuncu	Sarı	3,1-4,4
Metil kırmızısı	Kırmızı	Sarı	4,2-6,3
Turnusol	Kırmızı	Mavi	7,0
Bromtimol mavisi	Sarı	Mavi	6,0-7,6
Kresol kırmızısı	Sarı	Kırmızı	7,2-8,8
Fenolftalein	Renksiz	Pembe	8,3-10,0
Alizarin sarısı	Sarı	Kırmızı	10,2-12,0

a) Kuvvetli Asit/Baz Titrasyon Deneyi

6.5. ETKİNLİK

Etkinliğin Adı: **Asit/Baz Titrasyonu**

Etkinliğin Amacı: Derişimi bilinen bir asit çözeltisi ile derişimi bilinmeyen bir baz çözeltisinin derişiminin belirlenmesi

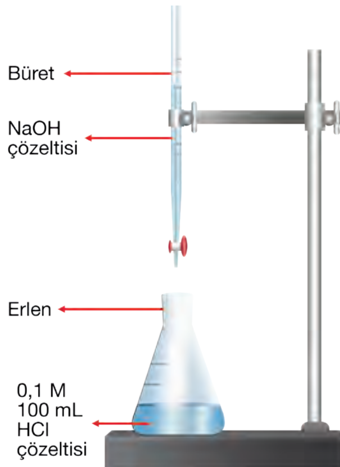
Etkinliğin Süresi: 40 dakika

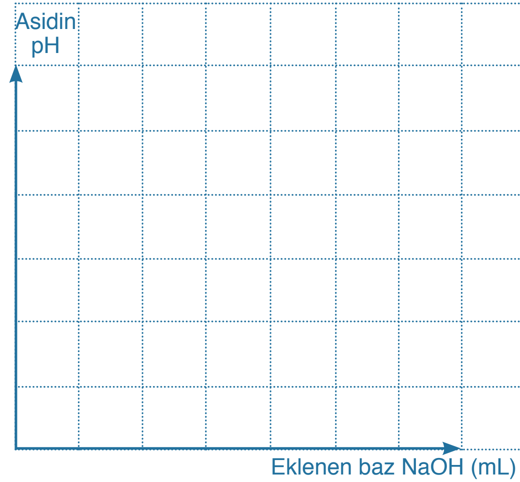
Araç ve Gereçler

- 0,1 M HCl çözeltisi
- Derişimi bilinmeyen NaOH çözeltisi
- Büret, Erlenmayer, Dereceli silindir
- Fenolftalein indikatörü
- Üçayak, destek çubuğu, bağlama parçası
- Bunzen kıskacı, damlalık

Uygulama Aşamaları

1. Aşağıda bulunan görseldeki gibi titrasyon düzeneğini kurunuz.
2. Erlenmayere 100 mL 0,1 M kuvvetli asit (HCl) çözeltisi koyup üzerine birkaç damla fenolftalein indikatörü damlatınız.
3. Büreti derişimi bilinmeyen NaOH çözeltisi ile doldurunuz.
4. Bir elinizle büretin musluğunu açarak baz çözeltisini damla damla asit çözeltisine ilave ediniz.
5. Diğer elinizle de erlenmayeri yavaş yavaş çalkalayarak çözeltilerin karışmasını sağlayınız.
6. Dönüm noktasına yaklaşıldığında bazın damladığı yerde pembe (menekşe) renk oluşur.
7. Çözelti çalkanınca oluşan renk kayboluyorsa damla damla baz eklenmeye devam ediniz.
8. Sabit pembe renk oluşunca musluğu kapatınız ve bürette harcanan bazın hacmini belirleyiniz.





Etkinliğin Değerlendirilmesi

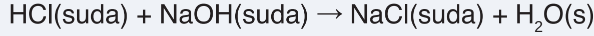
Dönüm noktasında harcanan NaOH çözeltisinin hacmi kaç mL'dir?
Başlangıçta kuvvetli asidin (HCl) mol sayısı kaçtır? Dönüm noktasında asidin hacmi ve molaritesinden yararlanarak harcanan hacmini bulduğunuz NaOH çözeltisinin molaritesini hesaplayınız.Titrasyonda pH değişimi-eklenen bazın hacim grafiğini çiziniz.

b) Titrasyon Hesaplamaları

Örnek

25 mL HCl çözeltisinin fenolftalein indikatörü yanında 0,15 M NaOH çözeltisi ile titrasyonunda, indikatörün rengi değiştiği anda 20 mL baz harcandığı belirleniyor. HCl çözeltisinin derişimi kaç molardır?

Çözüm



$HCl(suda) + NaOH(suda) \rightarrow NaCl(suda) + H_2O(s)$

Tam nötralleşmenin olduğu anda $M_A\ V_A\ Td_A = M_B\ V_B\ Td_B$ olur.

HCl ve NaOH için tesir değeri 1'dir.

$M_A . 25 . 1 = 0,15 . 20 . 1$ $\quad M_A = 0,12$ M

Örnek

90 mL KOH çözeltisinin fenolftalein indikatörü yanında 0,12 M H_2SO_4 çözeltisi ile titrasyonunda, indikatörün rengi değiştiği anda 15 mL asit harcandığı belirleniyor. KOH çözeltisinin derişimi kaç molardır?

Çözüm

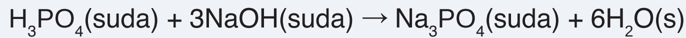
$H_2SO_4(suda) + 2KOH(suda) \rightarrow K_2SO_4(suda) + 2H_2O(s)$

Tam nötralleşmenin olduğu anda $M_A\ V_A\ Td_A = M_B\ V_B\ Td_B$ olur.

H_2SO_4 için tesir değeri 2 ve KOH için tesir değeri 1'dir.

$0,12 . 15 . 2 = M_B . 90 . 1$ $\quad M_B = 0,04$ M

Örnek



$H_3PO_4(suda) + 3NaOH(suda) \rightarrow Na_3PO_4(suda) + 6H_2O(s)$

Tepkimesine göre 0,1 M 30 mL H_3PO_4 çözeltisi fenolftalein indikatörü yardımıyla 0,1 M NaOH çözeltisi ile titre ediliyor. Tepkimenin dönüm noktasında kaç mL NaOH çözeltisi harcanır?

Çözüm

$M_A\ V_A\ Td_A = M_B\ V_B\ Td_B$ $\quad 0,1 . 30 . 3 = 0,1 . V_B . 1$ $\quad V_B = 90$ mL NaOH harcanır.

H_3PO_4 için tesir değeri 3 ve NaOH için tesir değeri 1'dir.

Örnek

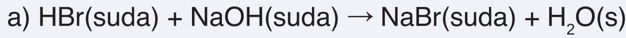
0,1 M 60 mL HBr çözeltisi, 0,1 M NaOH çözeltisi ile titre ediliyor. Buna göre

a) 20 mL NaOH eklendiğinde

b) 60 mL NaOH eklendiğinde

c) 140 mL NaOH eklendiğinde oluşan karışımın pH değerleri kaçtır? (log5 = 0,7 log4 = 0,6)

Çözüm



a) HBr(suda) + NaOH(suda) → NaBr(suda) + H_2O(s)

NaOH için $M = \frac{n}{V} \Rightarrow \quad 0,1 = \frac{n}{0,02} \Rightarrow n = 0,002 = 2.10^{-3}$ mol

HBr için $M = \frac{n}{V} \Rightarrow \quad 0,1 = \frac{n}{0,06} \Rightarrow n = 0,006 = 6.10^{-3}$ mol

Bu durumda kısmi nötralleşmeden sonra ortamda kalan HBr'in miktarı $6.10^{-3} - 2.10^{-3} = 4.10^{-3}$ moldür. 80 mL çözeltideki H^+ iyonu derişimi

$$[H^+] = \frac{n}{V} \Rightarrow [H^+] = \frac{4.10^{-3}}{0,08} = 0,05 \text{ M}$$

pH = $-\log 5.10^{-2} = 2 - 0,7 = 1,3$ olur.

b) 60 mL 0,1 M HBr üzerine 60 mL 0,1 M NaOH ilavesinden sonra nötralleşme tepkimesi tamamlandığı ve oluşan tuz (NaBr) hidrolize uğramadığı için hesaplama daha basittir. Dönüm noktasında $[H^+] = [OH^-] = 1.10^{-7}$ M ve çözeltinin pH'si 7'dir.

c) NaOH için $M = \frac{n}{V} \Rightarrow \quad 0,1 = \frac{n}{0,14} \Rightarrow n = 0,014 = 14.10^{-3}$ mol

HBr için $M = \frac{n}{V} \Rightarrow \quad 0,1 = \frac{n}{0,06} \Rightarrow n = 0,006 = 6.10^{-3}$ mol

Bu durumda kısmi nötralleşmeden sonra ortamda kalan NaOH'in miktarı $14.10^{-3} - 6.10^{-3} = 8.10^{-3}$ moldür. 200 mL çözeltideki OH^- iyonu derişimi

$$[OH^-] = \frac{n}{V} \Rightarrow [OH^-] = \frac{8.10^{-3}}{0,2} = 0,04 \text{ M}$$

pOH = $-\log 4.10^{-2} = 2 - 0,6 = 1,4$ pH = 14 - 1,4 pH = 12,6 olur.

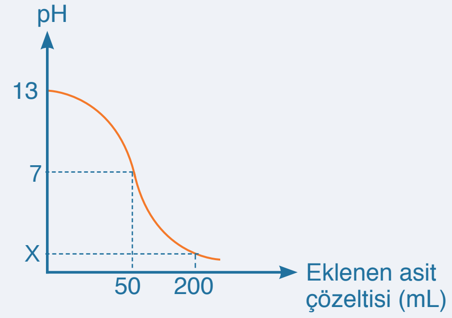
Örnek

Yandaki grafik 100 mL KOH çözeltisinin HCl çözeltisi ile titrasyonuna aittir. Buna göre

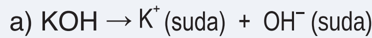
a) KOH çözeltisinin başlangıç derişimi kaç molardır?

b) HCl çözeltisinin derişimi kaç molardır?

c) Grafikteki X değeri kaçtır?



Çözüm


a) $KOH \rightarrow K^{+}(suda) + OH^{-}(suda)$

KOH için pH = 13 olduğuna göre pOH = 1 olur. $[OH^{-}] = 10^{-1} = 0,1$ M

b) Dönüm noktasında pH = 7 iken asit çözeltisinden 50 mL harcanmıştır.

$M_A V_A Td_A = M_B V_B Td_B$

$M_A . 50 . 1 = 0,1 . 100 . 1 \qquad M_A = 0,2$ M

c) KOH için $\quad M = \dfrac{n}{V} \Rightarrow \quad 0,1 = \dfrac{n}{0,1} \quad \Rightarrow n = 0,01 = 1.10^{-2}$ mol

HCl için $\quad M = \dfrac{n}{V} \Rightarrow \quad 0,2 = \dfrac{n}{0,2} \quad \Rightarrow n = 0,04 = 4.10^{-2}$ mol

Bu durumda kısmi nötralleşmeden sonra ortamda kalan HCl'in miktarı $4.10^{-2} - 1.10^{-2} = 3.10^{-2}$ moldür. 300 mL çözeltideki H^{+} iyonu derişimi

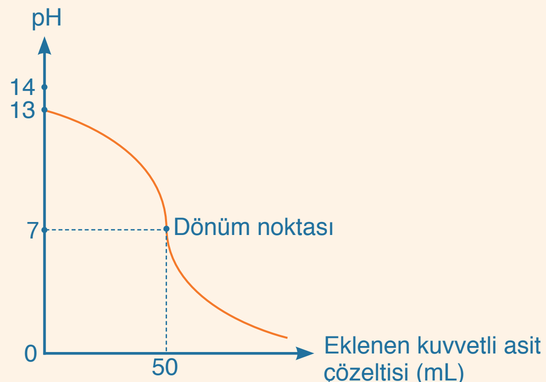
$[H^{+}] = \dfrac{n}{V} \Rightarrow [H^{+}] = \dfrac{3.10^{-2}}{0,3} = 0,1$ M $\qquad$ pH = $-\log 10^{-1} = 1 \qquad$ X = 1 olur.

6.27. Alıştırma

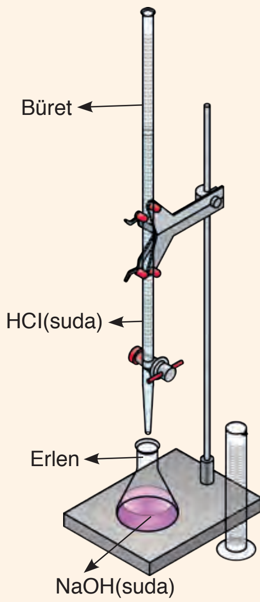
pH'si 13 olan $Ca(OH)_2$ çözeltisi pH = 1 olan 100 mL HCl çözeltisine ilave ediliyor. Oluşan karışımın dönüm noktasında pH'si 7 oluyor. Buna göre eklenen $Ca(OH)_2$ çözeltisinin hacmi kaç litredir?

6.28. Alıştırma

0,1 M, 300 mL NaOH çözeltisini titre etmek için 0,2 M'lık kuvvetli asit çözeltisi ilave ediliyor. Yanda verilen titrasyonla ilgili grafiğe göre kullanılan asidin tesir değerliği kaçtır?



6.29. Alıştırma



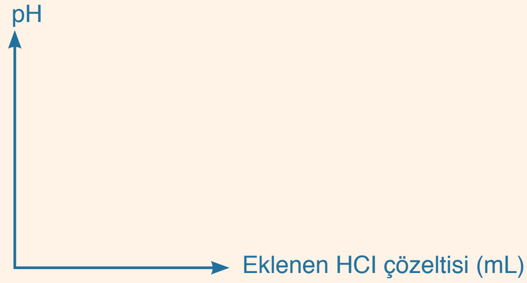
Erlendeki OH^- iyon derişimi 0,01 M olan 150 mL NaOH çözeltisi üzerine büretteki 0,01 molar HCl çözeltisinden

a) 50 mL eklenirse

b) 150 mL eklenirse

c) 450 mL eklenirse

oluşan çözeltilerin pH değerlerini hesaplayarak pH eklenen asit çözeltisi grafiğini çiziniz. (log5 = 0,7)



6.30. Alıştırma

50 mL 0,2 M NaOH örneği 0,2 M HNO_3 ile titre ediliyor.

a) Dönüm noktasında toplam çözelti hacmi kaç mL'dir?

b) Dönüm noktasında pH değeri kaçtır?

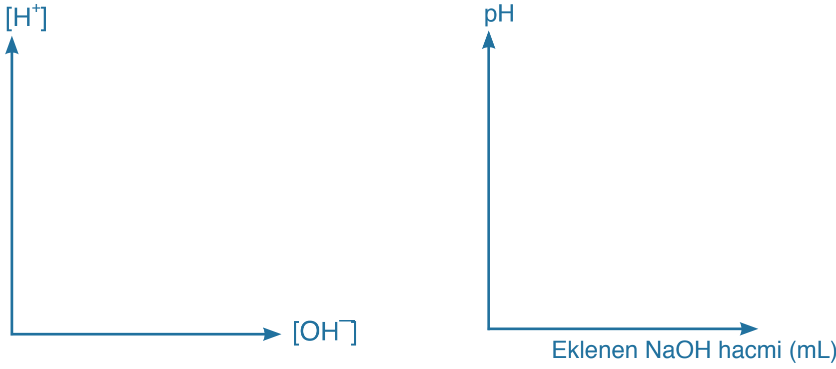
c) 150 mL HNO_3 kullanıldığında pH değeri kaç olur?

c) Titrasyon Yöntemine Yönelik Hesaplamaların Elektronik Tablolama Programı Kullanılarak Kurgulanması

- Aşağıda HCl ve NaOH çözeltilerinin titrasyonu ile ilgili değerler Tablo 6.13'te verilmiştir. Bu değerlerden yararlanıp elektronik tablolama programı kullanarak $[H^+]$ - $[OH^-]$ grafiği oluşturunuz ve yorumlayınız. Aynı tablodaki verileri kullanarak pH-eklenen NaOH çözeltisi hacim grafiğini oluşturunuz ve grafiği yorumlayınız.

Tablo 6.13: *25 mL 0,1 M HCl Çözeltisinin 0,1 M NaOH Çözeltisi ile Titrasyonu*

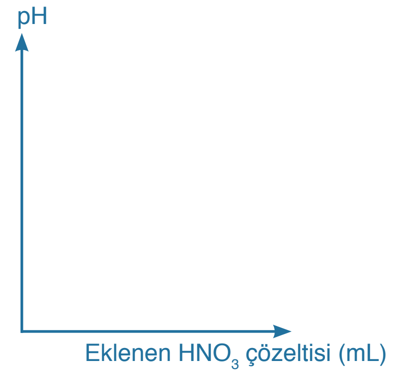
HCl (mL)	NaOH (mL)	Toplam Hacim (mL)	H^+ Mol Sayısı	OH^- Mol Sayısı	Fazla İyon Derişimi (M)	pH
25,00	0,00	25,00	$2,5.10^{-3}$	0	$0,10$ $[H^+]$	1,0
25,00	10,00	35,00	$2,5.10^{-3}$	1.10^{-3}	$4,3.10^{-2}$ $[H^+]$	1,4
25,00	24,99	49,99	$2,5.10^{-3}$	$2,499.10^{-3}$	$2,0.10^{-5}$ $[H^+]$	4,7
25,00	25,00	50,00	$2,5.10^{-3}$	$2,50.10^{-3}$	0	7,0
25,00	25,01	50,01	$2,5.10^{-3}$	$2,501.10^{-3}$	$2,0.10^{-5}$ $[OH^-]$	9,3
25,00	26,00	51,00	$2,5.10^{-3}$	$2,60.10^{-3}$	$2,0.10^{-3}$ $[OH^-]$	11,3
25,00	50,00	75,00	$2,5.10^{-3}$	$5,0.10^{-3}$	$3,3.10^{-2}$ $[OH^-]$	12,5



- HNO_3 ve KOH çözeltilerinin titrasyonu ile ilgili değerler Tablo 6.14'te verilmiştir. Tablodaki boşlukları doldurunuz. Bu değerlerden yararlanıp elektronik tablolama programı kullanarak tablodaki verilerle pH-eklenen HNO_3 çözeltisi hacmi grafiğini oluşturunuz ve grafiği yorumlayınız. (log2 = 0,3 log4 = 0,6 log5 = 0,7)

Tablo 6.14: *300 mL 0,1 M KOH Çözeltisinin 0,1 M HNO_3 Çözeltisi ile Titrasyonu*

KOH (mL)	HNO_3 (mL)	Toplam Hacim (mL)	OH^- Mol Sayısı	H^+ Mol Sayısı	Fazla İyon Derişimi (M)	pH
300	0,00					
300	100					
300	200					
300	300					
300	700					
300	900					



6.3.9. Sulu Ortamlarda Çözünme Çökelme Dengeleri

a) Çözünme-Çökelme Dengeleri

Çökelme tepkimeleri sanayide, ilaç sektöründe ve günlük yaşamda geniş bir öneme sahiptir. Örneğin sodyum karbonat (Na_2CO_3) gibi çoğu sanayi kimyasallarının hazırlanması, çökelme tepkimelerini kullanmayı gerektirir. Suda çözünmeyen baryum sülfat ($BaSO_4$), X ışınlarını geçirmez özellikte olup sindirim sistemi rahatsızlıklarının teşhisinde kullanılır. Sarkıt ve dikitleri oluşturan kalsiyum karbonat ($CaCO_3$), çökelme tepkimesi ile meydana gelir (Görsel 6.15). Türkiye'nin en güzel doğal oluşumlarından biri olan Pamukkale Travertenleri de çökelme tepkimeleri sonucunda oluşmuştur (Görsel 6.16). Milyonlarca yılda oluşan bu doğal güzellikler özenle korunmalıdır.

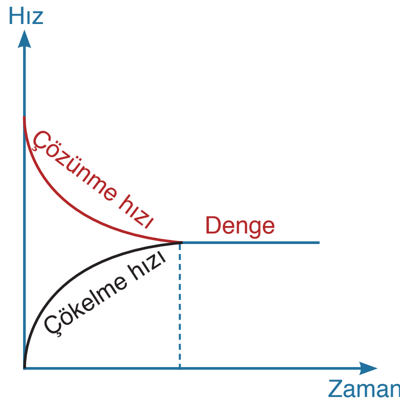
Görsel 6.16: *Pamukkale Travertenleri*

Görsel 6.15: *Sarkıt ve dikitler*

Az çözünen tuzların suda çok az miktarı bile çözülmeye çalışıldığı zaman tuzun büyük bir kısmı çözünmeden kalır ve doymuş çözelti oluşturur. Örneğin 25 °C'de saf AgCl (gümüş klorür) ile çözeltideki Ag^+ ve Cl^- iyonları arasında dengeye ulaşıldığında 1 litre suda $1,34.10^{-5}$ mol AgCl çözünür ve iyonlaşır. Bu miktar, çok küçük olmasına karşın laboratuvar çalışmalarındaki teknik analizlerde önemlidir. Az çözünen tuzların çözeltilerinde, çözeltideki iyonlarla çözünmeden kalan katı arasında bir denge kurulduğuna göre bu tuzların çözünürlük dengeleri heterojen bir dengedir.

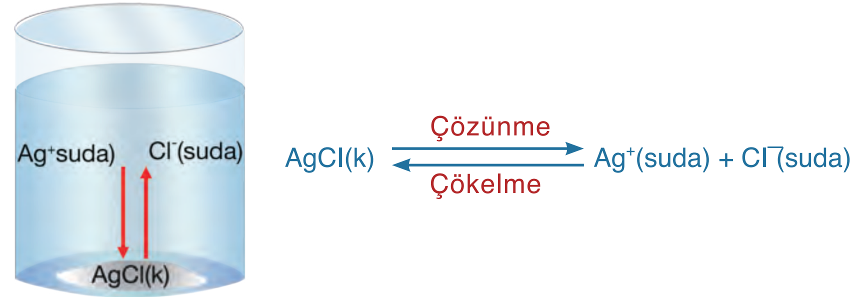
Dibinde katısı bulunan doymuş çözeltilerde, çözünme hızı çökelme hızına eşit olduğundan birim zamanda kapta bulunan katıdan çözeltiye geçen iyonlar ile çöken iyonlar arasında bir denge kurulur. Bu dengeye **çözünürlük dengesi** denir.

Heterojen dengelerde, saf katılar ve sıvılar denge ifadesi eşitliklerine yazılmaz. Çözünürlük dengeleri için yazılacak denge sabiti eşitliklerinde de çözünmeden kalan katılar denge eşitliğine yazılmaz. Çözünürlük dengelerinde denge sabiti K_c yerine $K_{çç}$ kullanılır ve bu ifadeye **çözünürlük çarpımı** denir. Çözünürlük çarpımı yazılırken çözeltideki iyonların molar derişimleri yazılır, tepkime denklemindeki katsayılar üs alınır.



Grafik 6.21: *Çözünme-çökelme dengesi*

25 °C'de AgCl tuzunun sudaki çözünürlük dengesi



AgCl gibi tuzlar, zayıf elektrolit olarak davrandığından AgCl suda Ag^+ ve Cl^- iyonlarına kısmen ayrışır. AgCl katı olduğundan çözünürlük denge bağıntısında yer almaz. Çözünme-çökelme dengesi Grafik 6.21'de verilen grafikle ifade edilir.

$$K_c = \frac{[Ag^+][Cl^-]}{[AgCl_{(k)}]} \qquad K_c\,[AgCl_{(k)}] = [Ag^+][Cl^-] \qquad K_{çç} = [Ag^+][Cl^-]$$

Bilgi Kutusu

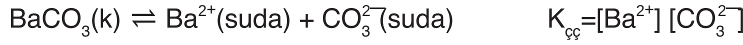
- *Suda çok çözünen NaCl ve KNO_3 gibi tuzların $K_{çç}$ değerleri verilmez.*
- *Çözünürlük çarpımı sadece az çözünen iyonik katılar için kullanılır. Kovalent yapılı katıların çözünürlük çarpımları yoktur.*

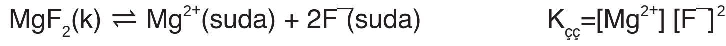
Çözünürlük dengesinin özellikleri

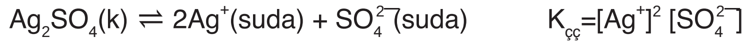
Sabit sıcaklıkta sulu çözeltilerde denge kurulduğunda

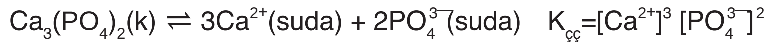
- Dibinde katısı olan çözelti doymuştur.
- Çözünme ve çökelme devam etmektedir.
- Çözünme hızı çökelme hızına eşittir.
- Dipteki katı kütlesi değişmez.
- Çözeltideki iyon derişimleri sabittir.

İki veya çok iyonlu katıların çözünürlük denge tepkimeleri ve çözünürlük denge bağıntıları


$BaCO_3(k) \rightleftharpoons Ba^{2+}(suda) + CO_3^{2-}(suda)$ $K_{çç}=[Ba^{2+}][CO_3^{2-}]$


$MgF_2(k) \rightleftharpoons Mg^{2+}(suda) + 2F^-(suda)$ $K_{çç}=[Mg^{2+}][F^-]^2$


$Ag_2SO_4(k) \rightleftharpoons 2Ag^+(suda) + SO_4^{2-}(suda)$ $K_{çç}=[Ag^+]^2[SO_4^{2-}]$


$Ca_3(PO_4)_2(k) \rightleftharpoons 3Ca^{2+}(suda) + 2PO_4^{3-}(suda)$ $K_{çç}=[Ca^{2+}]^3[PO_4^{3-}]^2$

şeklindedir.

6.31. Alıştırma

Aşağıdaki iyonik katıların, suda çözünme denklemlerini ve bunlara ait çözünürlük denge bağıntılarını yazınız.

a) $BaSO_4$ b) $CuBr$ c) PbI_2 ç) $Al(OH)_3$ d) Ag_2S

Bilgi Kutusu

Belirli bir sıcaklıktaki maddenin çözünürlüğü iki şekilde ifade edilebilir.

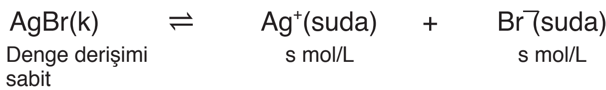
- *1 L doymuş çözeltideki çözünen maddenin mol sayısına **molar çözünürlük (mol/L)** denir.*
- *1 L doymuş çözeltideki çözünenin gram olarak miktarına **çözünürlük (g/L)** denir.*

Sabit sıcaklıkta doymuş çözeltide, 1 L suda ya da 1 L çözeltide çözünen maddenin mol sayısına **çözünürlük** denir.

$$\text{Çözünürlük} = \text{Molarite} = \frac{n_{doymuş}}{V_{çözelti}} \qquad s = M = \frac{n\,(mol)}{V\,(L)}$$

"s" değeri mol/L cinsinden çözünürlüğü ifade eder.

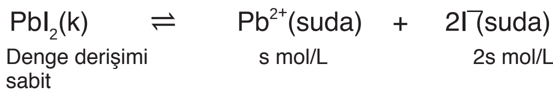
$K_{çç}$ değerinin belirlenebilmesi için tuzun molar çözünürlüğünün bilinmesi gerekir. $K_{çç}$ değeri sadece çözünen maddenin cinsine ve sıcaklığına bağlıdır. $K_{çç}$ değerinin hesaplanmasında iyonların molarite cinsinden derişimleri kullanılır.


$AgBr(k) \rightleftharpoons Ag^+(suda) + Br^-(suda)$
Denge derişimi sabit — s mol/L — s mol/L

$K_{çç}=[Ag^+][Br^-]$ $K_{çç}= s.s = s^2$

s değeri AgBr tuzunun mol/L cinsinden çözünürlüğüdür.

s^2 değeri ise iki iyonlu az çözünen tuzlarda çözünürlük çarpımını ($K_{çç}$) verir.


$PbI_2(k) \rightleftharpoons Pb^{2+}(suda) + 2I^-(suda)$
Denge derişimi sabit — s mol/L — 2s mol/L

$K_{çç}=[Pb^{2+}][I^-]^2$ $K_{çç}= s.(2s)^2$ $K_{çç}= 4s^3$

s değeri PbI_2 tuzunun mol/L cinsinden çözünürlüğüdür.

$4s^3$ değeri ise üç iyonlu az çözünen tuzlarda çözünürlük çarpımını ($K_{çç}$) verir.

Bilgi Kutusu

Çözünürlüğü bilinen bir bileşiğin $K_{çç}$ değeri bulunurken izlenecek yol

İyonik bileşiğin çözünürlüğü

↓

İyonik bileşiğin çözünme tepkimesi

↓

Anyon ve katyonların derişimleri

↓

İyonik bileşiğin $K_{çç}$ değeri

şeklindedir.

Bilgi Kutusu

$K_{çç}$ değeri bilinen bir bileşiğin çözünürlük değeri bulunurken izlenecek yol

İyonik bileşiğin $K_{çç}$ değeri

↓

İyonik bileşiğin çözünme tepkimesi

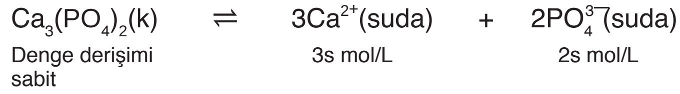
↓

Katyon ve anyonların derişimleri

↓

İyonik bileşiğin sudaki çözünürlüğü

şeklindedir.



$K_{çç}= [Ca^{2+}]^3\,[PO_4^{3-}]^2 \quad K_{çç}= (3s)^3.\,(2s)^2 \quad K_{çç}= 27s^3.\,4s^2 \quad K_{çç}= 108s^5$

Çözünürlük çarpımı sabiti ($K_{çç}$) mol/L'nin katlarında farklı birimlere sahip olabilir.

$K_{çç}= s^2$ ise $K_{çç}$'nin birimi mol^2/L^2 (M^2) dir.

$K_{çç}= 4s^3$ ise $K_{çç}$'nin birimi mol^3/L^3 (M^3) tür.

$K_{çç}= 27s^4$ ise $K_{çç}$'nin birimi mol^4/L^4 (M^4) tür.

Suda az çözünen bazı iyonik bileşiklerin çözünürlük çarpımı değerleri Tablo 6.15'te verilmiştir.

Tablo 6.15: *25 °C'de Suda Az Çözünen Bazı İyonik Bileşiklerin Çözünürlük Çarpımları*

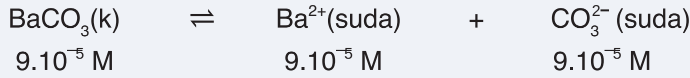
Bileşik Adı	Formülü	$K_{çç}$
Gümüş klorür	$AgCl$	$1,6.10^{-10}$
Gümüş iyodür	AgI	$8,3.10^{-17}$
Gümüş bromür	$AgBr$	$7,7.10^{-13}$
Gümüş sülfür	Ag_2S	6.10^{-51}
Baryum karbonat	$BaCO_3$	$8,1.10^{-9}$
Baryum sülfat	$BaSO_4$	$1,1.10^{-10}$
Baryum florür	BaF_2	$1,7.10^{-6}$
Kalsiyum fosfat	$Ca_3(PO_4)_2$	$1,2.10^{-26}$
Kalsiyum karbonat	$CaCO_3$	$8,7.10^{-9}$
Bakır(I) bromür	$CuBr$	$4,2.10^{-8}$
Bakır(II) sülfür	CuS	6.10^{-37}
Demir(II) sülfür	FeS	6.10^{-19}
Demir(II) hidroksit	$Fe(OH)_2$	$1,6.10^{-14}$
Demir(III) hidroksit	$Fe(OH)_3$	$1,1.10^{-36}$
Çinko sülfür	ZnS	3.10^{-23}
Kalay(II) sülfür	SnS	1.10^{-26}
Alüminyum hidroksit	$Al(OH)_3$	$1,8.10^{-33}$
Kurşun(II) klorür	$PbCl_2$	$2,4.10^{-4}$
Kurşun(II) florür	PbF_2	$4,1.10^{-8}$
Kurşun(II) sülfür	PbS	$3,4.10^{-28}$
Magnezyum hidroksit	$Mg(OH)_2$	$1,2.10^{-11}$
Cıva(II) sülfür	HgS	4.10^{-54}

Örnek

25 °C'de 1,773 gram $BaCO_3$ katısı ile 100 L doymuş çözelti hazırlanıyor. Buna göre aynı sıcaklıkta $BaCO_3$ katısının çözünürlük çarpımı ($K_{çç}$) kaçtır? ($BaCO_3$:197)

Çözüm

$BaCO_3$ için $n = \dfrac{1{,}773}{197} = 0{,}009$ mol $M = \dfrac{n}{V} = \dfrac{0{,}009}{100} = 9.10^{-5}$ M



$$BaCO_3(k) \rightleftharpoons Ba^{2+}(suda) + CO_3^{2-}(suda)$$

$$9.10^{-5}\ M \quad\quad 9.10^{-5}\ M \quad\quad 9.10^{-5}\ M$$

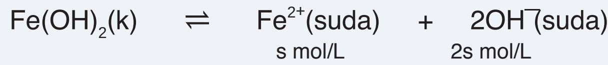
$K_{çç} = [Ba^{2+}][CO_3^{2-}]$ $K_{çç} = 9.10^{-5}.\ 9.10^{-5}$ $K_{çç} = 81.10^{-10}$ $K_{çç} = 8{,}1.10^{-9}$ olur.

Örnek

Demir(II) hidroksit [$Fe(OH)_2$] katısının 25 °C'de çözünürlüğü $1{,}59.10^{-5}$ mol/L olduğuna göre aynı sıcaklıktaki çözünürlük çarpımı sabiti ($K_{çç}$) kaçtır?

Çözüm

$Fe(OH)_2$ tuzu iyonik bir katıdır. Çözünürlüğü "s" alınırsa iyon derişimleri aşağıdaki gibi olur:



$$Fe(OH)_2(k) \rightleftharpoons Fe^{2+}(suda) + 2OH^-(suda)$$

$$s\ mol/L \quad\quad 2s\ mol/L$$

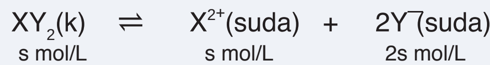
$K_{çç} = [Fe^{2+}]\ [OH^-]^2$ $K_{çç} = s.(2s)^2$ $K_{çç} = 4s^3 \Rightarrow K_{çç} = 4.(1{,}59.10^{-5})^3 = 1{,}6.10^{-14}$

Örnek

XY_2 iyonik katısının 25 °C'de 50 L doymuş çözeltisi hazırlanıyor. XY_2 için $K_{çç} = 3{,}2.10^{-14}$ olduğuna göre çözeltide kaç gram XY_2 çözünmüştür? (XY_2:40)

Çözüm

XY_2 için çözünürlük s mol/L ise



$$XY_2(k) \rightleftharpoons X^{2+}(suda) + 2Y^-(suda)$$

$$s\ mol/L \quad\quad s\ mol/L \quad\quad 2s\ mol/L$$

$K_{çç} = [X^{2+}]\ [Y^-]^2$ $K_{çç} = s.(2s)^2$ $K_{çç} = 4s^3 \Rightarrow 3{,}2.10^{-14} = 4s^3$

$8.10^{-15} = s^3$ $s = 2.10^{-5}$ mol/L

$M = \dfrac{n}{V} \Rightarrow 2.10^{-5} = \dfrac{n}{50L} \Rightarrow n = 1.10^{-3}$ mol $m = 1.10^{-3}.\ 40 = 0{,}04$ g XY_2 katısı çözünür.

6.32. Alıştırma

25 °C'de 100 mL suda $3{,}8.10^{-3}$ gram $PbSO_4$'ın (kurşun(II) sülfat) çözünmesiyle doymuş çözelti oluşmaktadır. ($PbSO_4$:303) Buna göre

a) Aynı sıcaklıkta $PbSO_4$'ın çözünürlüğü kaç mol/L'dir?

b) Aynı sıcaklıkta $PbSO_4$ için $K_{çç}$ değeri kaçtır?

6.33. Alıştırma

25 °C'de saf suda doymuş BaF_2 çözeltisindeki F^- iyonları derişimi $1{,}2.10^{-2}$ M olduğuna göre BaF_2'ün $K_{çç}$ değeri kaçtır?

Bilgi Kutusu

Bazı iyonları içeren tuzların sudaki çözünürlükleri

- *Alkali metallerin (1A) bütün tuzları çözünür.*
- *Bütün NO_3^-, NH_4^+ ve CH_3COO^- tuzları çözünür (CH_3COOAg hariç).*
- *Ag^+, Pb^{2+}, Hg^{2+} ve Cu^{2+} katyonları hariç diğer katyonların bütün Cl^-, Br^-, ve I^- tuzları çözünür.*
- *Sr^{2+}, Pb^{2+}, Hg^{2+}, Ca^{2+} ve Ba^{2+} katyonları hariç diğer katyonların bütün SO_4^{2-} tuzları çözünür.*

Çökelti Oluşumu

Suda iyi çözünen iyonik katıların sulu çözeltileri karıştırılınca suda çözünmeyen katı oluşumuna **çökelme**, çöken katıya **çökelek** denir.

Çözünürlük çarpımının en yararlı uygulamalarından biri, iki veya daha fazla çözelti karıştırıldığı zaman bir çökmenin olup olmayacağını önceden belirlenebilmesidir. Böyle bir karışım az çözünen bir tuzun iyonlarını içeriyorsa çökelmenin olup olmayacağı, çözeltiler karıştırıldıktan sonraki iyonların derişimlerine bağlıdır.

Tepkimenin herhangi bir anında iyon derişimlerinin çarpımına **iyon çarpımı** denir. İyon çarpımı $\mathbf{Q_{iyon}}$ veya $\mathbf{Q_i}$ ile gösterilir.

Çökme olup olmadığı Q_{iyon} ve $K_{çç}$ değerlerinin karşılaştırılması ile belirlenir.

- $K_{çç} = Q_{iyon}$ ise karışım az çözünen tuzun iyonları bakımından doygunluğa erişmiştir ve sistem dengededir. Bu nedenle bir çökelme meydana gelmez.
- $K_{çç} > Q_{iyon}$ ise karışım az çözünen tuzun iyonları bakımından doygunluğa erişmemiştir ve bir çökelme meydana gelmez. $Q_{iyon} = K_{çç}$ oluncaya kadar az çözünen tuzdan bir miktar daha çözünebilir.
- Başlangıçta $K_{çç} < Q_{iyon}$ ise karışım az çözünen tuzun iyonları bakımından aşırı doymuştur ve çökme olur. Çökelme tamamlandıktan sonra dengeye ulaşan çözeltide $K_{çç} = Q_{iyon}$ olur.

Örnek

0,002 M $Pb(NO_3)_2$ (kurşun(II) nitrat) ile 0,006 M NaBr (sodyum bromür) eşit hacimde karıştırılıyor. Çözeltide bir çökelek oluşur mu?

($PbBr_2$ için $K_{çç} = 4{,}67.10^{-6}$)

Çözüm

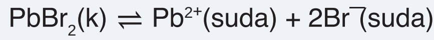
$Pb(NO_3)_2$ için iyonlaşma denklemi

$Pb(NO_3)_2(suda) \rightarrow Pb^{2+}(suda) + 2NO_3^-(suda)$ şeklindedir.

Pb^{2+} iyonunun yeni molaritesi $M_1V_1 = M_2V_2$ bağıntısından belirlenir.

$0{,}002.V = M_2.2V$ $[Pb^{2+}] = 0{,}001$ M olur.

NaBr için iyonlaşma denklemi $NaBr(suda) \rightarrow Na^+(suda) + Br^-(suda)$ şeklindedir.
Br^- iyonunun yeni molaritesi $M_1V_1 = M_2V_2$ bağıntısından belirlenir.
$0,006.V = M_2.2V$ $[Br^-] = 0,003$ M olur.


$PbBr_2(k) \rightleftharpoons Pb^{2+}(suda) + 2Br^-(suda)$

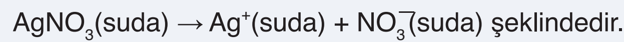
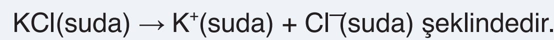
$Q_i = [Pb^{2+}][Br^-]^2$ $Q_i = 0,001 . (0,003)^2$ $Q_i = 9.10^{-9}$

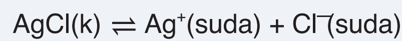
$K_{çç} > Q_i$ olduğundan çökme olmaz.

Örnek

5.10^{-2} M 400 mL $AgNO_3$ çözeltisi ile 5.10^{-3} M 100 mL KCl çözeltisi karıştırılıyor. Kaç mol AgCl katısı çöker? (AgCl için $K_{çç} = 1,6.10^{-10}$)

Çözüm

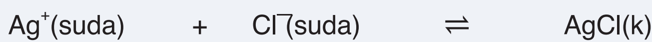
$AgNO_3$ için iyonlaşma denklemi

$AgNO_3(suda) \rightarrow Ag^+(suda) + NO_3^-(suda)$ şeklindedir.
Ag^+ iyonunun yeni molaritesi $M_1V_1 = M_2V_2$ bağıntısından belirlenir.
$5.10^{-2}.400 = M_2.500$ $[Ag^+] = 4.10^{-2}$ M
KCl için iyonlaşma denklemi

$KCl(suda) \rightarrow K^+(suda) + Cl^-(suda)$ şeklindedir.
Cl^- iyonunun yeni molaritesi $M_1V_1 = M_2V_2$ bağıntısından belirlenir.
$5.10^{-3}.100 = M_2.500$ $[Cl^-] = 1.10^{-3}$ M


$AgCl(k) \rightleftharpoons Ag^+(suda) + Cl^-(suda)$

$Q_i = [Ag^+][Cl^-]$ $Q_i = 4.10^{-2}.1.10^{-3}$ $Q_i = 4.10^{-5}$ $K_{çç} < Q_i$ olduğundan çökme gerçekleşir.

$[Ag^+] = \dfrac{n}{V} \Rightarrow 4.10^{-2} = \dfrac{n}{0,5}$ $n = 2.10^{-2}$ mol

$[Cl^-] = \dfrac{n}{V} \Rightarrow 1.10^{-3} = \dfrac{n}{0,5}$ $n = 5.10^{-4}$ mol



$Ag^+(suda)$	+	$Cl^-(suda)$	$\rightleftharpoons$	$AgCl(k)$
2.10^{-2} mol		5.10^{-4} mol		- - - - -
-5.10^{-4} mol		-5.10^{-4} mol		$+5.10^{-4}$ mol. Buna göre 5.10^{-4} mol AgCl katısı çöker.

Örnek

0,2 M 300 mL $BaCl_2$ çözeltisi ile 0,4 M 200 mL K_2CO_3 çözeltileri karıştırılıyor. Çökelme tamamlandıktan sonra çözeltide kalan Ba^{2+} iyonları derişimi kaç M'dır? ($BaCO_3$ için $K_{çç} = 8.10^{-9}$)

Çözüm

$BaCl_2$ için iyonlaşma denklemi

$BaCl_2(suda) \rightarrow Ba^{2+}(suda) + 2Cl^-(suda)$ şeklindedir.

Ba^{2+} iyonunun yeni molaritesi $M_1V_1 = M_2V_2$ bağıntısından belirlenir.

$0{,}2.300 = M_2.500$ $[Ba^{2+}] = 0{,}12$ M

K_2CO_3 için iyonlaşma denklemi

$K_2CO_3\ (suda) \rightarrow 2K^+(suda) + CO_3^{2-}(suda)$ şeklindedir.

CO_3^{2-} iyonunun yeni molaritesi $M_1V_1 = M_2V_2$ bağıntısından belirlenir.

$0{,}4.200 = M_2.500$ $[CO_3^{2-}] = 0{,}16$ M

$BaCO_3$ katısının suda iyonlaşma tepkimesi

	$BaCO_3$ (k)	⇌	Ba^{2+}(suda)	+	CO_3^{2-}(suda)
Başlangıç :			0,12 M		0,16 M
Değişim :			-0,12 M		-0,12 M
Artan :			- - - -		0,04 M
Çözünen :	-s M		+s M		+s M
Denge :			s M		(0,04 + s) M

$K_{çç} = [Ba^{2+}][CO_3^{2-}]$ $8.10^{-9} = s.(4.10^{-2} + s)$ $s = [Ba^{2+}] = 2.10^{-7}$ M

İhmal edilir.

6.34. Alıştırma

Oda koşullarında 4.10^{-3} M 100 mL $Fe(NO)_3$ çözeltisi ile 8.10^{-3} M 300 mL KOH çözeltisi karıştırıldığında çökelme olur mu? ($Fe(OH)_3$ için $K_{çç} = 1.10^{-36}$)

6.35. Alıştırma

4.10^{-3} M 200 mL $BaCl_2$ çözeltisi ile 8.10^{-3} M 600 mL K_2SO_4 çözeltisi karıştırılıyor. Çökelme tamamlandıktan sonra çözeltideki Ba^{2+} ve SO_4^{2-} iyonlarının derişimleri kaç mol/L olur? ($BaSO_4$ için $K_{çç} = 1.10^{-10}$)

6.36. Alıştırma

2.10^{-4} M $Ca(NO_3)_2$ çözeltisi ile eşit hacimde derişimi bilinmeyen KF çözeltisi karıştırılınca bir çökmenin başlaması için KF'ün başlangıç derişimi en az kaç molar olmalıdır? (CaF_2 için $K_{çç} = 4.10^{-12}$)

b) Çözünürlük Dengesine Etki Eden faktörler

Çözünürlük dengesini çözücü ve çözünen türü, sıcaklık, basınç, pH, ortak iyon ve yabancı iyon etkiler. Bu bölümde çözünürlük dengesini etkileyen faktörlerden sıcaklık ve ortak iyon etkisi açıklanacaktır.

Sıcaklık

Sıcaklık faktörü, çözünme tepkimelerinin endotermik veya ekzotermik oluşuna göre çözünürlüğü etkiler. Örneğin AB katısının çözünmesi endotermik olduğuna göre

$AB(k) + ısı \rightleftharpoons A^{+}(suda) + B^{-}(suda)$ dengesi oluşur.

Katısıyla dengede olan doymuş çözeltinin sıcaklığı arttırılırsa Le Châtelier İlkesi'ne göre artan sıcaklığı azaltmak için denge, ürünler yönüne (çözünme) kayar. Dengenin ürünler yönüne kaymasıyla daha fazla madde çözünür. Böylece çözünürlük, iyon derişimleri ve $K_{çç}$ değeri artar. Örneğin X_2Y katısının çözünmesi ekzotermik olduğuna göre

$X_2Y\ (k) \rightleftharpoons 2X^{+}(suda) + Y^{2-}(suda) + ısı$ dengesi oluşur.

Katısıyla dengede olan doymuş çözeltinin sıcaklığı arttırılırsa Le Châtelier İlkesi'ne göre artan sıcaklığı azaltmak için denge girenler yönüne (çökelme) kayar. Dengenin girenler yönüne kaymasıyla daha az madde çözünür. Böylece çözünürlük, iyon derişimleri ve $K_{çç}$ değeri azalır.

Bilgi Kutusu

- *Endotermik çözünmelerde sıcaklık ile $K_{çç}$ değeri doğru orantılıdır.*
- *Ekzotermik çözünmelerde sıcaklık ile $K_{çç}$ değeri ters orantılıdır.*

Örnek

AB_2 tuzunun 20 °C ve 60 °C'deki çözünürlük çarpımları aşağıdaki gibidir:

20 °C'de $K_{çç} = 3,2.10^{-11}$

60 °C'de $K_{çç} = 2,56.10^{-7}$

Buna göre

a) AB_2 tuzunun suda çözünmesi endotermik mi yoksa ekzotermik midir?

b) 20 °C'de sudaki çözünürlüğü kaç mol/L'dir?

c) 60 °C'deki 1 litrelik doymuş çözelti 20 °C'ye soğutulursa kaç mol AB_2 tuzu çöker?

Çözüm

a) AB_2 tuzunun sıcaklığı arttıkça çözünürlük çarpımı arttığı için çözünme tepkimesi endotermiktir.

b) $AB_2(k) + ısı \rightleftharpoons A^{2+}(suda) + 2B^{-}(suda)$ $\quad K_{çç} = [A^{2+}][B^{-}]^2$

s mol/L $\quad$ s mol/L $\quad$ 2s mol/L

20 °C'de $\quad K_{çç} = 3,2.10^{-11} = s\ .\ (2s)^2 = 4s^3 \quad 32.10^{-12} = 4s^3 \quad s = 2.10^{-4}$ mol/L

c) 60 °C'de $\quad K_{çç} = 2,56.10^{-7} = s\ .\ (2s)^2 = 4s^3 \quad 256.10^{-9} = 4s^3 \quad s = 4.10^{-3}$ mol/L

20 °C'de $\quad s = 2.10^{-4}$ mol/L

1 L çözeltide 60 °C'de 4.10^{-3} mol AB_2 tuzu çözünür.

1 L çözeltide 20 °C'de 2.10^{-4} mol AB_2 tuzu çözünür.

Çözelti 60 °C'den 20 °C'ye soğutulursa

$40.10^{-4} - 2.10^{-4} = 38.10^{-4}$mol AB_2 tuzu çöker.

Ortak İyon Etkisi

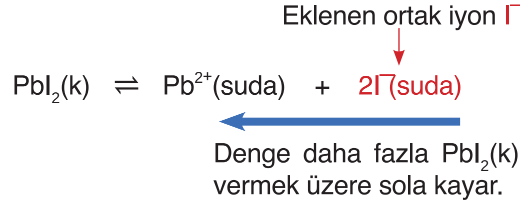
Suda iyonlaşarak çözünen bir maddenin saf sudaki çözünürlüğü, kendisi ile ortak iyon içeren çözeltideki çözünürlüğünden büyüktür. Suda az çözünen bir tuzun suda iyi çözünen bir tuzun çözeltisindeki aynı tür iyonların çözünürlüğü azaltmasına **ortak iyon etkisi** denir. Suda az çözünen tuzların çözünürlüğü ortak iyon etkisiyle azalır. Ortak iyon $K_{çç}$ değerini değiştirmez. Ortak iyon derişimi arttıkça çözünürlük azalır.

Aynı durum iyi çözünen bir tuzun çözeltisine az çözünen bir tuz ilave edildiğinde de gözlenir ve az çözünen tuzun saf sudakinden daha az çözünmesine neden olur. Ortak iyon, Le Châtelier İlkesi'ne göre çözünmeyi engelleyerek dengeyi çökelme yönüne kaydırır.

Örneğin PbI_2'ün (kurşun(II) iyodür) doygun çözeltisine bir miktar KI çözeltisi eklendiğinde (I^- ortak iyon) Le Châtelier İlkesi'ne göre denge karışımındaki reaktiflerden birinin derişimi arttırıldığında denge bu reaktifi azaltacak yöne kayar. Ortak iyon olarak I^- eklendiğinde kurşun(II) iyodürün çözünürlük dengesi bu iyonun miktarını azaltacak yöne kayar ve yeni bir denge kurulur.

Bilgi Kutusu

İyonik bir bileşiğin çözünürlüğü, ortak iyon içeren bir çözelti içinde saf suya göre daha düşüktür.



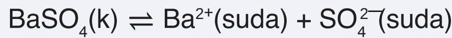
Ortak iyonun eklenmesi az çözünen iyonik bileşiğin dengesini çözünmemiş bileşiğe doğru kaydırır ve daha fazla çökelek oluşmasına neden olur. Böylece iyonik bileşiğin çözünürlüğü azalır.

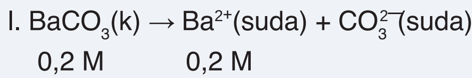
Örnek

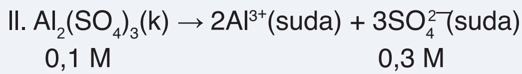
$BaSO_4$ bileşiğinin aynı sıcaklıkta aşağıdaki çözeltilerdeki ve saf sudaki çözünürlüklerini sıralayınız.

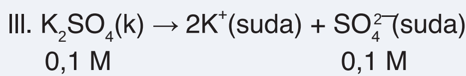
I. 0,2 M $BaCO_3$ II. 0,1 M $Al_2(SO_4)_3$ III. 0,1 M K_2SO_4 IV. Saf su

Çözüm









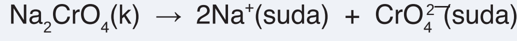
Ortak iyon derişimi büyük olan çözeltide çözünürlük en az olur. $BaSO_4$ katısının çözünürlüğü en fazla saf suda, ortak iyon molaritesi en büyük olan $Al_2(SO_4)_3$ çözeltisinde ise en azdır. Çözünürlükleri IV > III > I > II şeklinde sıralanır.

Örnek

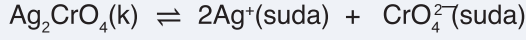
Ag_2CrO_4'ın 25 °C'de 0,25 M Na_2CrO_4 çözeltisindeki çözünürlüğü kaç mol/L'dir?

(Ag_2CrO_4 için $K_{çç} = 1.10^{-12}$)

Çözüm



0,25 M　　0,5 M　　0,25 M



s mol/L　　2s mol/L　　(0,25 + s) mol/L

0,25 M Na_2CrO_4'taki çözünürlüğü $K_{çç} = (2s)^2.(0,25 + s)$

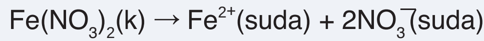
$1.10^{-12} = 4s^2. 0,25$　　$s = 1.10^{-6}$ mol/L

İhmal edilir.

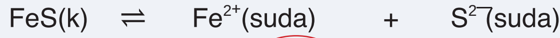
Örnek

FeS katısının 25 °C'de 0,3 M $Fe(NO_3)_2$ çözeltisindeki çözünürlüğü 2.10^{-18} M olduğuna göre aynı sıcaklıkta FeS için $K_{çç}$ değeri kaçtır?

Çözüm



0,3 M　　0,3 M　　0,6 M



2.10^{-18} mol/L　　$(0,3 + 2.10^{-18})$ mol/L　　2.10^{-18} mol/L

İhmal edilir.

$K_{çç} = [Fe^{2+}][S^{2-}] = 0,3.2.10^{-18}$　　$K_{çç} = 6.10^{-19}$

6.37. Alıştırma

25 °C'de CaF_2 için $K_{çç} = 4.10^{-12}$ olduğuna göre CaF_2 iyonik katısının

a) Saf sudaki çözünürlüğü kaç mol/L'dir?

b) 0,01 M $CaCl_2$ çözeltisindeki çözünürlüğü kaç mol/L'dir?

c) 0,2 M NaF çözeltisindeki çözünürlüğü kaç mol/L'dir?

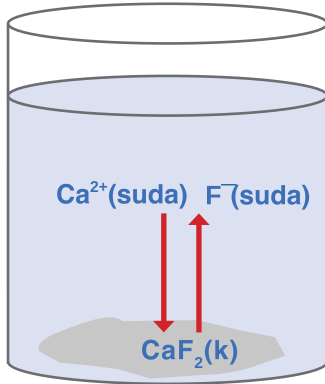
6.38. Alıştırma

$CaSO_4$ katısının 25 °C'de 0,5 M K_2SO_4 çözeltisindeki çözünürlüğü 5.10^{-5} mol/L'dir. Buna göre $CaSO_4$ katısının aynı sıcaklıkta 0,1 M $Ca(NO_3)_2$ çözeltisindeki çözünürlüğü kaç mol/L'dir?

A Aşağıda verilen bilgilere göre soruları cevaplandırınız.

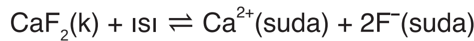
ÇÖZÜNÜRLÜK DENGESİ

Dibinde katısı bulunan doymuş çözeltilerde çözünme hızı çökelme hızına eşit olduğundan birim zamanda kapta bulunan katıdan çözeltiye geçen iyonlar ile çöken iyonlar arasında bir denge kurulur. Bu dengeye **çözünürlük dengesi** denir. Sabit sıcaklıkta doygun çözeltide, 1 L suda ya da 1 L çözeltide çözünen maddenin mol sayısına **çözünürlük** denir.



Sıcaklık artışı, çözünmesi ekzotermik olan maddelerin çözünürlüğünü azaltırken endotermik olanların çözünürlüğünü arttırır.

Kapta CaF_2 tuzu



$$CaF_2(k) + ısı \rightleftharpoons Ca^{2+}(suda) + 2F^{-}(suda)$$

tepkimesine göre CaF_2 tuzu iyonları ile denge hâlindedir. Dengedeki sisteme aşağıdaki işlemler yapılıyor. Buna göre verilen ifadeleri artar, azalır ve değişmez olarak belirtiniz.

1) Kaba sabit sıcaklıkta dipteki katının bir kısmını çözecek kadar su ilave edildiğinde

CaF_2 tuzunun $K_{çç}$ değeri:

CaF_2 tuzunun sudaki çözünürlük değeri (s):

Çözeltideki $[Ca^{2+}]$ değeri:

Çözeltideki $[F^{-}]$ değeri:

Çözeltideki Ca^{2+} mol sayısı:

Çözeltideki F^{-} mol sayısı:

Çözelti kütlesi:

Dipteki katı kütlesi:

2) Kaba sabit sıcaklıkta dipteki katıyı çözecek sudan daha fazla su ilave edildiğinde

CaF_2 tuzunun $K_{çç}$ değeri:

CaF_2 tuzunun sudaki çözünürlük değeri (s):

Çözeltideki $[Ca^{2+}]$ değeri:

Çözeltideki $[F^{-}]$ değeri:

Çözeltideki Ca^{2+} mol sayısı:

Çözeltideki F^{-} mol sayısı:

Çözelti kütlesi:

Dipteki katı kütlesi:

3) Çözeltinin sıcaklığı düşürülürse

CaF_2 tuzunun $K_{çç}$ değeri:

CaF_2 tuzunun sudaki çözünürlük değeri (s):

Çözeltideki $[Ca^{2+}]$ değeri:

Çözeltideki $[F^{-}]$ değeri:

Çözeltideki Ca^{2+} mol sayısı:

Çözeltideki F^{-} mol sayısı:

Çözelti kütlesi:

Dipteki katı kütlesi:

4) Çözeltiye sabit sıcaklıkta $Ca(NO_3)_2$ katısı ilave edillirse

CaF_2 tuzunun $K_{çç}$ değeri:

CaF_2 tuzunun sudaki çözünürlük değeri (s):

Çözeltideki $[Ca^{2+}]$ değeri:

Çözeltideki $[F^{-}]$ değeri:

Çözeltideki Ca^{2+} mol sayısı:

Çözeltideki F^{-} mol sayısı:

Çözelti kütlesi:

Dipteki katı kütlesi:

B **Aşağıdaki kavramlar ile ilgili verilen bilgileri doğru (D) ya da yanlış (Y) olarak belirtiniz. Yanlış ise nedenini yazınız.**

	Kavramlar	D/Y	Yanlış ise Nedenini Yazınız
5.	**Kimyasal denge**		
a)	Ekzotermik tepkimelerde minimum enerji eğilimi, ürünler lehinedir.		
b)	Tersinmez tepkimelerde denge oluşabilir.		
c)	Denge, kapalı sistemlerde kurulur.		
ç)	K_p derişimler türünden denge sabitidir.		
6.	**Dengeyi etkileyen faktörler**		
a)	Endotermik tepkimelerde sıcaklık azalırsa K_c değeri azalır.		
b)	Denge durumunda giren maddelerden birinin derişimi artarsa ileri tepkime hızı geri tepkime hızından daha büyük olur.		
c)	Ürünlerdeki maddelerin derişimi arttırılırsa K_c değeri de artar.		
ç)	Dengeye etki yapıldığında dengenin hangi yöne kayacağı Le Châlitelier İlkesi ile açıklanır.		
d)	Denge durumunda olan ekzotermik bir tepkimenin sıcaklığı arttırıldığında geri tepkime hızı artarken ileri tepkime hızı değişmez.		
e)	$2NH_3(g) \rightleftharpoons N_2(g) + 3H_2(g)$ tepkimesi dengede iken hacim arttırılıp yeniden denge kurulduğunda $H_2(g)$ ve $N_2(g)$ derişimi artar.		
7.	**Sulu çözelti dengeleri**		
a)	Asit çözeltilerinde OH^- iyonları bulunmaz.		
b)	25 °C'de K_{su} değeri 1.10^{-14} dür.		
c)	$[H^+] > [OH^-]$ olan bir çözeltiye su eklendiğinde pOH değeri artar.		
ç)	25 °C'de bir çözeltide $[H^+] < 10^{-7}$ M ise çözelti bazik özellik gösterir.		
d)	Saf su, zayıf bir elektrolittir.		
e)	NH_4^+ katyonu asidik özellik gösterir.		
f)	Zayıf asitler suda %100 iyonlaşır.		
g)	NaCl sulu çözeltisinde iyonlardan biri hidroliz olur.		
ğ)	Çözünmesi endotermik olan maddelerin çözünürlüğü sıcaklıkla doğru orantılı olarak değişir.		
h)	Ortak iyon etkisi $K_{çç}$'yi azaltır.		

C Aşağıdaki kutularda verilen ifadelerden uygun olanları boşluklara yazınız.

ters	elektron	zayıf	açık
4.10^{-4}	tersinmez	azalır	ürünler
tampon	ileri	kapalı	anyonu
4.10^{-1}	artar	doğru	tersinir
girenler	kuvvetli	proton	bazik
asidik	1.10^{-4}	nötr	geri

8. Endotermik tepkimelerde minimum enerji eğilimi .... tarafına doğrudur.

9. Denge, ... sistemlerde gerçekleşir.

10. Kimyasal denge olabilmesi için tepkimenin .... olması gerekir.

11. Gaz fazında gerçekleşen tepkimelerde girenlerin derişimi arttırıldığında .... tepkime hızı artar.

12. Ekzotermik tepkimelerin denge sabitleri, sıcaklık ile .... orantılıdır.

13. Bir çözeltide 25 °C'de $\frac{pH}{pOH} = 6$ ise çözelti .... özellik gösterir.

14. Brönsted-Lowry asit baz tanımına göre .... veren madde asidiktir.

15. K_a değeri birden küçük olan asitler .... asittir.

16. 0,01 M CH_3COOH çözeltisinin $K_a = 1,6.10^{-5}$ olduğuna göre bu çözeltinin $[H^+]$ değeri .... olur.

17. Zayıf baz ve zayıf bazın tuzu ile hazırlanan çözeltiler .... çözelti özelliği gösterir.

18. Zayıf asit ve kuvvetli bazın nötralleşmesinden oluşan tuzun ....hidroliz olur.

19. X M 100 mL KOH çözeltisi ile 0,1 M 200 mL H_2SO_4 çözeltisi tam nötralleştiğine göre X değeri .... olur.

20. PbS'ün 25 °C'deki $K_{çç} = 1.10^{-8}$ olduğuna göre PbS'ün saf sudaki çözünürlüğü .... mol/L'dir.

21. Kuvvetli asit ile kuvvetli bazın nötralleşmesi sonucu oluşan tuz .... özellik gösterir.

Ç Aşağıdaki açık uçlu soruları cevaplayınız.

22. Aşağıdaki tepkimelerde maksimum düzensizlik ve minimum enerji eğilimi zıt yönlü olup tepkimeler dengededir. Buna göre bu tepkimelerin maksimum düzensizlik ve minimum enerji eğilimlerinin hangi yöne doğru olduğunu belirtiniz. Tepkimeleri endotermik ve ekzotermik olarak sınıflandırınız.

Tepkime	Maksimum Düzensizlik	Minimum Enerji Eğilimi	Endotermik	Ekzotermik
$CaCO_3(k) \rightleftharpoons CaO(k) + CO_2(g)$				
$2NH_3(g) \rightleftharpoons N_2(g) + 3H_2(g)$				
$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$				
$2H(g) \rightleftharpoons H_2(g)$				

23. Kapalı bir kaba $H_2(g)$ ve $Cl_2(g)$ konularak zamanla $H_2(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons 2HCl(g)$ dengesinin kurulması sağlanıyor. Başlangıçtan denge kuruluncaya kadar geçen sürede ileri ve geri tepkime hızı için aşağıdaki soruları artar, azalır ve değişmez olarak yanıtlayınız.

Başlangıçtan dengeye kadar olan sürede

a) İleri tepkime hızı: ....

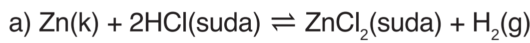
b) Geri tepkime hızı: ....

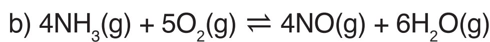
Dengede

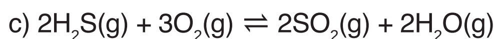
a) İleri tepkime hızı: ....

b) Geri tepkime hızı: ....

24. Aşağıdaki tepkimelerin derişimler ve kısmi basınçlar türünden denge sabiti ile bu tepkimelerin K_p ile K_c arasındaki bağıntılarını yazınız.


a) $Zn(k) + 2HCl(suda) \rightleftharpoons ZnCl_2(suda) + H_2(g)$


b) $4NH_3(g) + 5O_2(g) \rightleftharpoons 4NO(g) + 6H_2O(g)$


c) $2H_2S(g) + 3O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_2(g) + 2H_2O(g)$

25. $N_2(g) + 2O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ tepkimesinin belli sıcaklıkta denge sabiti değeri K_c= 4'tür. 6 mol $O_2(g)$ ve x mol $N_2(g)$ 2 litrelik kaba konularak tepkimenin dengeye gelmesi sağlanıyor. Aynı sıcaklıkta tepkime dengeye ulaştıktan sonra kapta 4 mol $NO_2(g)$ bulunduğuna göre x kaçtır?

26. Aşağıda verilen denge tepkimelerinin sıcaklık ve K_p değerlerinden yararlanılarak her bir tepkimenin K_c değerini hesaplayınız.

a) $CaCO_3(k) \rightleftharpoons CaO(k) + CO_2(g)$ 1092 K $K_p = 179{,}2$

b) $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$ 819 K $K_p = 3$

27. Aşağıdaki tepkimelerin denge sabitlerinin sıcaklıkla değişimi verilmiştir. Bu verilerden yararlanarak tepkimeleri maksimum ve minimum enerji eğiliminin yönünü, tepkimeleri endotermik, ekzotermik, heterojen ve homojen olarak sınıflandırınız.

Tepkime	Sıcaklık (K)	Denge Sabiti	Maksimum Enerji Eğilimi	Minimum Enerji Eğilimi	Endotermik	Ekzotermik	Homojen	Heterojen
$CaCO_3(k) \rightleftharpoons CaO(k) + CO_2(g)$	600 1000	2.10^{-3} $2{,}7.10^{-3}$						
$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$	300 500	7.10^{5} $3{,}6.10^{-2}$						
$H_2(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons 2HCl(g)$	300 500	4.10^{31} 4.10^{18}						
$F_2(g) \rightleftharpoons 2F(g)$	500 1000	3.10^{-11} 1.10^{-2}						

28. Kapalı 1 litrelik bir kapta 0,1 mol H_2, 0,1 mol Cl_2 ve 0,2 mol HCl gazları $H_2(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons 2HCl(g)$ tepkimesine göre dengededir. Sabit sıcaklıkta kaba n mol $H_2(g)$ ve n mol $Cl_2(g)$ eklenip yeniden denge kurulduğunda kapta 0,4 mol HCl(g) bulunduğuna göre n kaç mol'dür?

29. 500 K'de $Cl_2(g) + Br_2(g) \rightleftharpoons 2BrCl(g)$ tepkimesinin denge sabiti K_c = 0,03'tür. Bu sistem dengede iken $[Cl_2]$ = 0,5 M, [BrCl] = 0,15 M'dır. Sistemin hacmi sabit sıcaklıkta yarıya indirilip yeniden denge kurulduğunda $[Br_2]$ kaç molar olur?

30. Katalizörün dengeyi nasıl etkilediğini açıklayınız.

31. Kapalı bir kapta $COCl_2(g)$ + ısı $\rightleftharpoons$ $CO(g) + Cl_2(g)$ tepkimesi dengede iken bu dengeye aşağıdaki etkiler yapıldığında verilen ifadelerin nasıl değiştiğini belirtiniz.

a) Kaba aynı sıcaklıkta $COCl_2$ ilave edilirse

Denge hangi yöne ilerler:

Dengedeki madde derişimleri ve denge sabiti değeri nasıl değişir?

$[COCl_2]$: $[CO]$: $[Cl_2]$: K_c:

b) Sıcaklık düşürülürse

Denge hangi yöne ilerler:

Dengedeki madde derişimleri ve denge sabiti değeri nasıl değişir?

$[COCl_2]$: $[CO]$: $[Cl_2]$: K_c:

c) Kabın hacmi küçültülürse

Denge hangi yöne ilerler:

Dengedeki madde derişimleri ve denge sabiti değeri nasıl değişir?

$[COCl_2]$: $[CO]$: $[Cl_2]$: K_c:

32. 25 ^{o}C'de saf su ısıtılarak sıcaklığı yükseltildiğinde suyun aşağıda verilen değerlerini artar, azalır ve değişmez olarak belirtiniz.

a) pH ....

b) pOH ....

c) K_{su} ....

ç) $[H^+]$ ....

d) $[OH^-]$ ....

33. Aşağıda verilen tepkimelerde Brönsted-Lowry asit-baz tanımına göre konjuge asit-baz çiftlerini belirtiniz.

a) $HClO_2(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_3O^+(suda) + ClO^-(suda)$

b) $NH_3(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons NH_4^+(suda) + OH^-(suda)$

c) $HCO_3^-(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_2CO_3(suda) + OH^-(suda)$

34. HF zayıf bir asittir. Buna göre HF suda çözündüğünde çözeltide bulunan iyonları ve molekülleri yazınız.

35. 25 °C'de CH_3COOH için K_a= 1,8.10^{-5}, HCN için K_a = 4,9.10^{-10} dur. Buna göre 25 °C'de eşit derişimli CH_3COOH ve HCN çözeltileri için

a) H^+ ve OH^- iyonları derişimlerini

b) pH değerlerini

c) CH_3COOH ve HCN asitlerinin iyonlaşma yüzdelerini karşılaştırınız.

36. 0,1 M 200 mL HCN çözeltisinin 25 °C'de H^+ iyonu mol sayısı ve OH^- iyon derişimi kaçtır? (HCN için K_a = 4,9.10^{-10})

37. K_a= 1,8.10^{-5} olan CH_3COOH'in 0,1 M 100 mL çözeltisine su eklendiğinde çözeltinin aşağıda verilen değerlerini artar, azalır ve değişmez olarak belirtiniz.

a) pH ....

b) $[H^+]$ ....

c) $[OH^-]$ ....

ç) K_a ....

d) H^+ mol sayısı................

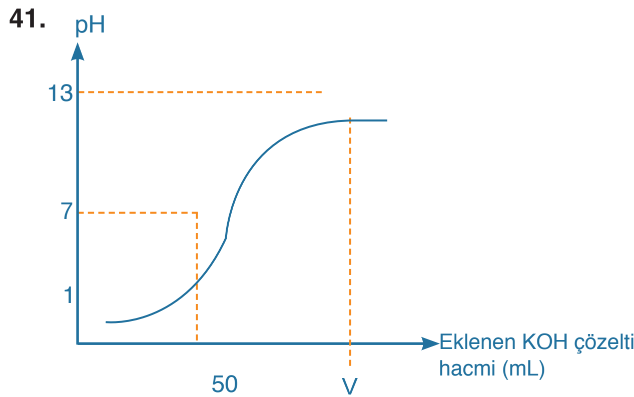
e) pOH ....

38. 0,05 M NH_3 çözeltisinin 25 °C'de pH değeri kaçtır? (NH_3 için K_b = 2.10^{-5})

39. Tampon çözeltinin nasıl hazırlandığını açıklayınız.

40. Tampon çözeltilerin günlük yaşam için önemini belirtiniz.

41.



Yandaki grafik 25 °C'de 100 mL HCl çözeltisinin KOH çözeltisi ile titrasyonuna aittir. Buna göre grafikteki V değeri kaçtır?

42.

Asit	Özelliği	Baz	Özelliği
HCl	kuvvetli	NaOH	kuvvetli
HF	kuvvetli	KOH	kuvvetli
HCN	zayıf	NH_3	zayıf
HNO_3	kuvvetli		
CH_3COOH	zayıf		

Yukarıdaki tabloda verilen bilgilere göre aşağıdaki tuz çözeltilerinin özelliklerini asidik, bazik ve nötr olarak sınıflandırınız. Çözeltilerde hidroliz olabilecek iyonları belirtiniz.

Tuz Çözeltisi	Asidik/Bazik/Nötr Özellik	Hidroliz Olabilecek İyon
KF		
NaCN		
NH_4Cl		
$NaNO_3$		
CH_3COOK		

43. Belli bir sıcaklıkta $BaCO_3$ için $K_{çç} = 8,1.10^{-9}$ dur. 0,9 mol $BaCO_3$'ın tamamını çözmek için kaç litre su kullanılmalıdır?

44. $X(OH)_2$ katısının sulu çözeltisinin pH = 10'dur. Buna göre aynı sıcaklıkta $X(OH)_2$'ın $K_{çç}$ değeri kaçtır?

45. $Hg(OH)_2(k) \rightleftharpoons Hg^{2+}(suda) + 2OH^-(suda) + ısı$
tepkimesine göre katısı ile dengede olan çözeltiye
a) NaOH katısı ekleme
b) Sıcaklığı azaltma
c) 0,1 M $Hg(NO_3)_2$ çözeltisi ekleme
işlemleri yapıldığında $Hg(OH)_2$'in çözünürlüğü nasıl değişir?

D Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları cevaplayınız.

46. I. $CaCO_3(k) \rightleftharpoons CaO(k) + CO_2(g)$ $\Delta H > 0$

II. $H_2(g) \rightleftharpoons 2H(g)$ $\Delta H > 0$

III. $PbCl_2(k) \rightleftharpoons Pb^{2+}(suda) + 2Cl^-(suda)$ $\Delta H > 0$

Yukarıdaki tepkimelerin hangilerinde maksimum düzensizlik ve minimum enerji eğilimi zıt yönlüdür?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II D) I ve III E) I, II ve III

47. $A_2(g) + 2B_2(g) \rightleftharpoons 2AB_2(g)$ + ısı

Yukarıdaki tepkime kapalı kapta dengede olduğuna göre

I. İleri tepkime hızı, geri tepkime hızına eşittir.

II. Zamanla ortamın sıcaklığı artar.

III. $[AB_2]$ zamanla artar.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II D) II ve III E) I, II ve III

48. $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$ + ısı $K_C = 0,6$

Tepkimesi dengededir. Bu denge durumu için

I. İleri aktifleşme enerjisi, geri aktifleşme enerjisinden büyüktür.

II. İleri tepkime hız sabiti, geri tepkime hız sabitine eşittir.

III. Sistem kapalıdır.

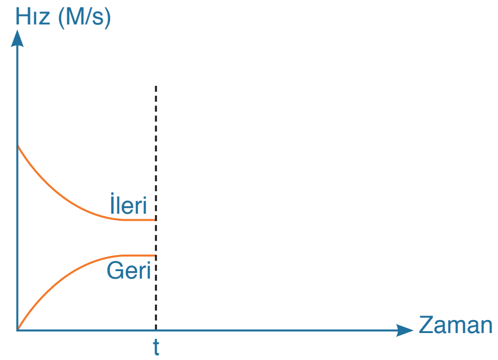
yargılarından hangileri yanlıştır?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II D) I ve III E) I, II ve III

49. $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ + ısı

$H_2(g)$, $I_2(g)$ ve HI(g) yukarıdaki tepkimeye göre dengeye gelebiliyor.

Kapalı bir kaba bir miktar $H_2(g)$, $I_2(g)$ konulduğunda t süre sonra ileri ve geri tepkime hızı grafikteki gibi oluyor.



Buna göre

I. Sistem t anında dengede değildir.

II. Sistemin dengeye gelebilmesi için HI(g) derişiminin artması gerekir.

III. Sistemin dengeye gelebilmesi için ileri tepkime hızının azalması gerekir.

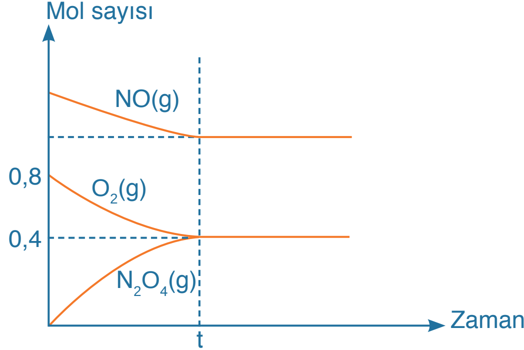
yargılarından hangileri doğru olur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II D) II ve III E) I, II ve III

50. $2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ tepkimesinin 0 °C'de kısmi basınçlar türünden denge sabiti $K_p = 1.10^{12}$ dir. **Buna göre aynı sıcaklıkta derişimler cinsinden denge sabiti K_c değeri kaçtır?**

A) $22,4.10^{12}$ B) $44,8.10^{12}$ C) 2.10^{12} D) $5,6.10^{12}$ E) $67,2.10^{12}$

51. Kapalı 1 L kaba 0,8 mol O_2(g) ve bir miktar NO(g) konularak $2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$ dengesi kuruluyor. Denge kurulana kadar maddelerin mol sayılarındaki değişim grafikteki gibidir.



Tepkimenin denge sabiti $K_c = \frac{4}{9}$ olduğuna göre başlangıçta kaba kaç mol NO(g) konulmuştur?

A) 2,3 B) 1,5 C) 0,5 D) 0,2 E) 0,1

52. $2COF_2(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + CF_4(g)$ $K_c = 2$

Belli bir sıcaklıkta yukarıdaki tepkime dengededir. **2 L kapalı kapta denge hâlinde 0,4 mol COF_2(g), 0,2 mol CF_4(g) ve X mol CO_2(g) bulunduğuna göre X kaçtır?**

A) 0,8 B) 1,6 C) 2 D) 2,4 E) 3

53. $2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$ denge tepkimesinde sabit sıcaklıkta 1 litrelik kaba 2 mol NO_2(g) konuluyor. **NO_2(g)'nın %20'si ayrıştığında denge kurulduğuna göre tepkimenin derişimler türünden denge sabiti (K_c) kaçtır?**

A) 2/32 B) 3/24 C) 5/64 D) 5 E) 64

54. $2NO(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons 2NOCl(g)$

1 L kapalı kaba 1 mol NO(g) ve 1 mol Cl_2(g) konularak tepkime dengeye geldiğinde ortamda 0,4 mol NOCl olduğuna göre tepkimenin derişimler türünden denge sabiti (K_c) değeri kaçtır?

A) 2/9 B) 5/6 C) 1 D) 5/9 E) 6

55. Sabit hacimli bir kapta $CO(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons COCl_2(g)$ tepkimesi dengededir. **Sabit sıcaklıkta kaba Cl_2(g) ilave edilip sistem tekrar dengeye gelene kadar**

I. İleri tepkime hızı artar.

II. Geri tepkime hızı artar.

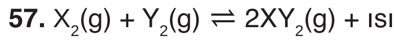
III. CO(g) derişimi azalır.

yargılarından hangileri gerçekleşir?

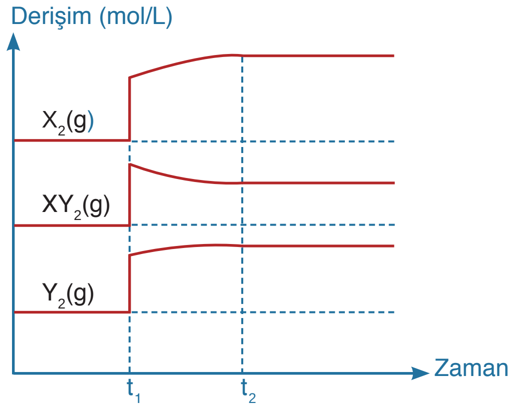
A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II D) I ve III E) I, II ve III

56. $NO(g) + CO_2(g) \rightleftharpoons NO_2(g) + CO(g)$ tepkimesi dengede iken 1 litrelik kapta 2 mol NO(g), 3 mol CO_2(g), 1mol NO_2(g) ve 3 mol CO(g) vardır. **Aynı sıcaklıkta CO(g)'in mol sayısını 4'e çıkarmak için kaba kaç mol NO(g) eklenmelidir?**

A) 1 B) 3 C) 5 D) 7 E) 8

57. 
$X_2(g) + Y_2(g) \rightleftharpoons 2XY_2(g) + \text{ısı}$

Tepkimesi kapalı kapta dengededir. Bu dengeye t_1 anında bir etki yapılarak yeniden denge kurulmasına ait grafik aşağıda verilmiştir.



Buna göre dengeye yapılan etki

I. Sabit sıcaklıkta kabın hacmini azaltmak

II. Sabit hacimde sıcaklığı arttırmak

III. Sabit sıcaklıkta kaba $X_2(g)$, $Y_2(g)$ ve $XY_2(g)$ ilave etmek

işlemlerinden hangileri olabilir?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

D) II ve III E) I, II ve III

58. Kimyasal bir denge tepkimesinde tepkime kabının hacmi değiştirildiğinde dengenin etkilenmediği, aynı tepkimede sıcaklık arttırıldığında ise denge sabitinin büyüdüğü biliniyor. **Bu tepkime aşağıdakilerden hangisi olabilir?**

A) $PCl_5(g) + \text{ısı} \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$

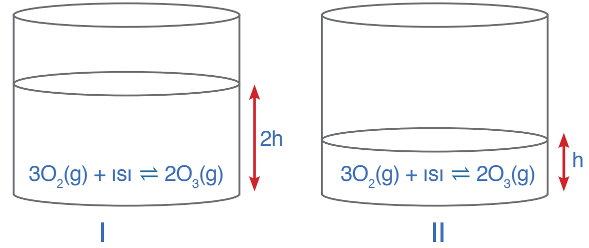
B) $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g) + \text{ısı}$

C) $2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g) + \text{ısı}$

D) $N_2(g) + O_2(g) + \text{ısı} \rightleftharpoons 2NO(g)$

E) $2SO_3(g) + \text{ısı} \rightleftharpoons 2SO_2(g) + O_2(g)$

59. Şekil I'deki gibi dengede olan sistemin hacmi sabit sıcaklıkta Şekil II'deki duruma getirilip yeniden denge oluşuyor.



Şekil II'deki denge durumu ile ilgili

I. $O_2(g)$ derişimi azalır.

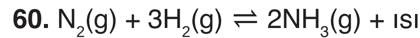
II. Denge sabiti (K_c) değeri artar.

III. $O_2(g)$ ve $O_3(g)$'un kısmi basınçları artar.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

D) II ve III E) I, II ve III

60. 
$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g) + \text{ısı}$

Tepkimesi sabit hacimli kapta dengede iken sıcaklık arttırıldığında

I. İleri ve geri tepkime hızı artar.

II. $NH_3(g)$ derişimi azalır.

III. K_c'nin sayısal değeri artar.

yargılarından hangileri gerçekleşir?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

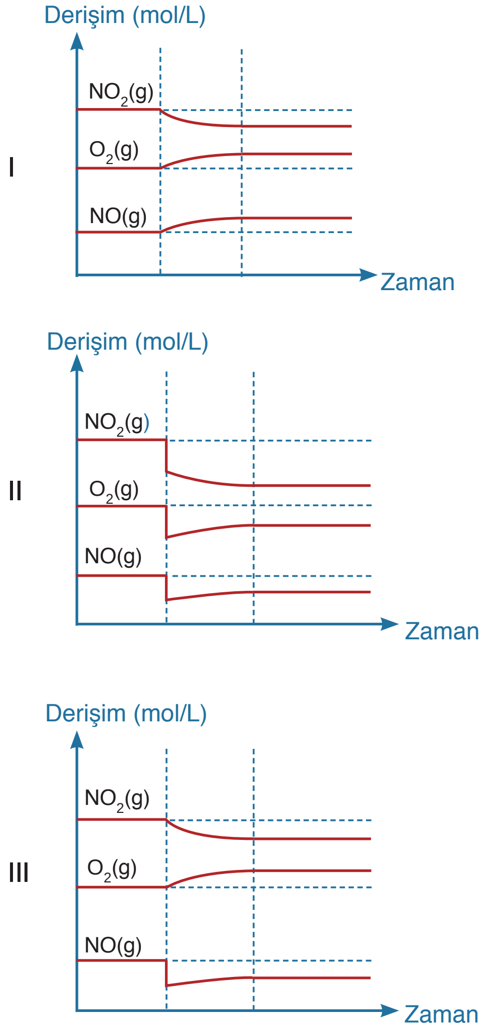
D) I ve II E) I, II ve III

61. $2HCl(g) \rightleftharpoons H_2(g) + Cl_2(g)$ tepkimesi için belirli sıcaklıkta 1 L tepkime kabında 0,6 mol HCl(g), 0,4 mol $H_2(g)$ ve 0,9 mol $Cl_2(g)$ dengede iken kaba 0,5 mol $H_2(g)$ ekleniyor. **Sistem aynı sıcaklıkta dengeye ulaştığında kapta kaç mol HCl(g) bulunur?**

A) 0,1 B) 0,2 C) 0,4

D) 0,6 E) 0,8

62. Kapalı bir kapta $2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ + ısı tepkimesi denge durumundadır. Bu tepkimeye yapılan etkiler sonucu tekrar denge kurulana kadar maddelerin derişimlerindeki değişmeler grafiklerde verilmiştir.



Buna göre I, II ve III grafiklerinde dengeye yapılan etkiler aşağıdakilerden hangisinde doğru verilmiştir?

	I	II	III
A)	Sıcaklığı arttırma	Hacmi azaltma	O_2 ekleme
B)	Sıcaklığı arttırma	Hacmi arttırma	NO uzaklaştırma
C)	NO_2 ekleme	Sıcaklığı azaltma	Hacmi arttırma
D)	NO ekleme	Sıcaklığı azaltma	Katalizör ekleme
E)	Sıcaklığı arttırma	Hacmi azaltma	NO uzaklaştırma

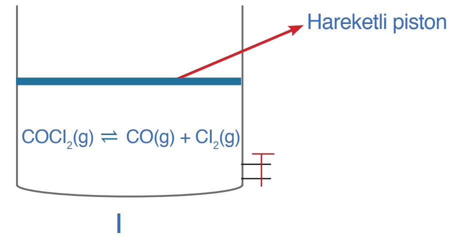
63. $X_2(g) + 2Y_2(g) \rightleftharpoons 2XY_2(g)$ $K_1 = 16$

$XY(g) + 1/2Y_2(g) \rightleftharpoons XY_2(g)$ $K_2 = 4$

Yukarıda denge tepkimeleri ile denge sabitleri verildiğine göre $X_2(g) + Y_2(g) \rightleftharpoons 2XY(g)$ tepkimesinin aynı sıcaklıkta denge sabiti değeri kaçtır?

A) 0,5 B) 1 C) 2 D) 16 E) 32

64. Hareketli pistonlu kapta aşağıdaki gibi dengede olan sisteme aynı sıcaklıkta He gazı ilave ediliyor.



Kapta yeniden denge kurulduğunda

I. CO(g) ve $Cl_2(g)$'ın kısmi basıncı artarken $COCl_2(g)$'ın kısmi basıncı azalır.

II. $COCl_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + Cl_2(g)$ tepkimesinin K_p değeri değişmez.

III. Kaptaki toplam basınç değişmez.

yargılarından hangileri doğru olur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

D) I ve II E) II ve III

65. 25 °C'de sulu çözelti için aşağıdaki ifadelerden hangisi yanlıştır?

A) $[H^+] = 10^{-7}$ M ise pH = 7'dir.

B) $[H^+] < 10^{-7}$ ise pH > 7'dir.

C) $[OH^-] > [H^+]$ ise pH < 7'dir.

D) $[OH^-] > 10^{-7}$ ise pOH < 7'dir.

E) $[H^+] > [OH^-]$ ise çözelti asidiktir.

66. Suyun otoiyonizasyonu H_2O + ısı $\rightleftharpoons$ H^+ + OH^- olduğuna göre 25 °C'deki suyun sıcaklığı arttırılıyor.

Buna göre

I. pH + pOH

II. H^+ derişimi

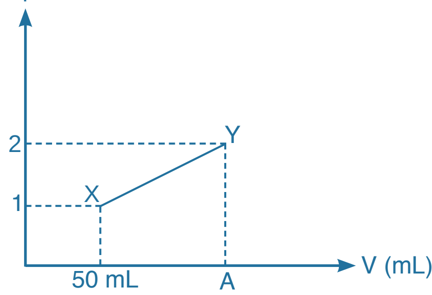
III. OH^- derişimi

değerlerinden hangileri artar?

A) Yalnız I B) I ve II C) II ve III

D) I ve III E) I,II ve III

67.



Şekilde belirtildiği gibi 25 °C'de X durumdaki değerlere sahip asit çözeltisinin Y durumdaki değerlere sahip olabilmesi için

I. Asidik özelliği arttırılmalı.

II. 450 ml su eklenmeli.

III. 2 M 50 ml HCl çözeltisi eklenmeli.

işlemlerinden hangileri yapılmalıdır?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

D) I ve III E) II ve III

68. HCO_3^-(suda) + H_2O(s) $\rightleftharpoons$ H_2CO_3(suda) + OH^-(suda)

tepkimesine göre

I. HCO_3^-(suda) proton vericidir.

II. H_2O/OH^- konjuge asit-baz çiftidir.

III. H_2CO_3 asit özelliği gösterir.

yargılarından hangileri doğru olur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

D) I ve II E) II ve III

69. NH_4^+(suda) + H_2O(s) $\rightleftharpoons$ NH_3(suda) + H_3O^+(suda)

F^-(suda) + H_2O(s) $\rightleftharpoons$ HF(suda) + OH^-(suda)

tepkimelerine göre

I. NH_4^+ asit, F^- baz özelliği gösterir.

II. H_2O amfoter özellik gösterir.

III. NH_4^+/NH_3, HF/F^- konjuge asit-baz çiftidir.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

D) I ve II E) I, II ve III

70. Zayıf asit olan HA suda çözünüyor.

Buna göre

I. Suda moleküler ve iyonlaşarak çözünür.

II. Suda %100 iyonlaşarak çözünür.

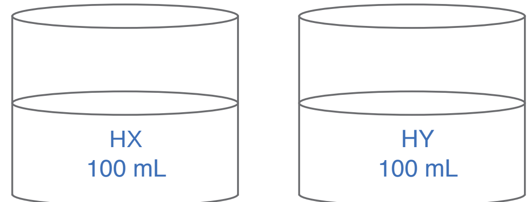
III. Sulu çözeltisinde $[H^+] > [OH^-]$ dir.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız III C) I ve II

D) I ve III E) I, II ve III

71.



Suda çözünmeleri endotermik olan HX ve HY asitlerinin asitlik sabit değerleri $Ka_{(HX)} > Ka_{(HY)}$ dir. HX ve HY asitlerinin yukarıdaki kaplardaki çözeltilerinde $[X^-]=[Y^-]$ olduğuna göre

I. [HX]=[HY] ise HX çözeltisinin sıcaklığı HY çözeltisinin sıcaklığından daha yüksektir.

II. Çözeltilerin sıcaklıkları eşit ise HX çözeltisinin derişimi HY çözeltisinden yüksektir.

III. Aynı sıcaklıkta kaplarda çözünen HX'in mol sayısı HY'nin mol sayısından daha düşüktür.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

D) I ve II E) I, II ve III

72. Aşağıda tepkime denklemleri verilen maddelerin aynı sıcaklıkta eşit derişimli sulu çözeltilerinden hangisinin pH değeri en yüksektir?

A) $HI(suda) \rightarrow H^+(suda) + I^-(suda)$

B) $HCN(suda) \rightleftharpoons H^+(suda) + CN^-(suda)$

C) $CH_3COOH(suda) \rightleftharpoons CH_3COO^-(suda) + H^+(suda)$

D) $CH_3NH_2(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons CH_3NH_3^+(suda) + OH^-(suda)$

E) $KOH(suda) \rightarrow K^+(suda) + OH^-(suda)$

73. Aynı sıcaklıkta derişimleri ve hacimleri eşit kuvvetli asit olan HCl ve zayıf asit olan HF çözeltileri için

I. pH değerleri

II. İyonlaşma yüzdeleri

III. Çözünmüş HCl ve HF mol sayıları

yargılarından hangileri eşit değildir?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) I, II ve III

74. 25 °C'de pOH = 12 olan 200 mL HBr çözeltisinde kaç mol H^+ iyonu vardır?

A) 0,002 B) 0,01 C) 10^{-12} D) 5.10^{-12} E) 0,001

75. 25 °C'de pH = 1 olan 100 mL asit çözeltisine kaç mL su eklenirse pH değeri 2 olur?

A) 50 B) 100 C) 900 D) 1000 E) 2000

76. 25 °C'de 1,12 g KOH ile 200 mL çözelti hazırlanıyor. **Oluşan çözeltinin pH değeri kaçtır?** (KOH:56)

A) 1 B) 2 C) 8 D) 10 E) 13

77. 4.10^{-2} M 100 mL HCl çözeltisine 300 mL su eklenince çözeltinin pH değeri kaç olur?

A) 1 B) 2 C) 3 D) 10 E) 12

78. 0,2 M'lık 100 mL CH_3COOH çözeltisinde H^+ iyonu mol sayısı 2.10^{-4} olduğuna göre asetik asitin Ka değeri kaçtır?

A) 2.10^{-7} B) 2.10^{-5} C) 2.10^{-3} D) 10^{-3} E) 10^{-1}

79. CH_3COOH'in sulu çözeltisine su eklendiğinde

I. CH_3COOH'ın derişimi

II. OH^- iyon derişimi

III. CH_3COO^- iyon derişimi

IV. İyonlaşma yüzdesi

değerlerinden hangileri artar?

(CH_3COOH için $K_a = 2.10^{-5}$)

A) Yalnız I B) Yalnız II C) II ve IV D) I, II ve IV E) II, III ve IV

80. 25 °C'de 0,4 M YOH bazının %0,2'si iyonlaştığına göre bu zayıf bazın K_b değeri kaçtır?

A) $1,6.10^{-6}$ B) $3,2.10^{-6}$ C) $1,6.10^{-8}$ D) $3,2.10^{-8}$ E) 8.10^{-8}

81. I. 1 mol 100 mL CH_3COOH ile 0,5 mol 100 mL NaOH

II. 1 mol 400 mL HCl ile 1 mol 100 mL NaOH

III. 2 mol 200 mL NH_3 ile 1 mol 100 mL HCl

Yukarıdaki çözeltilerin hangileri tampon çözelti oluşturur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) I ve III

82. 25 °C'de 100 mL 0,25 mol HF asit çözeltisinin pH değeri kaçtır? ($Ka = 4.10^{-5}$)

A) 2 B) 3 C) 4 D) 11 E) 12

83. I. NH_3/NH_4Cl

II. CH_3COOH/CH_3COONa

III. HCl/NaCl

Yukarıda verilen bileşik çiftlerinden hangileri tampon çözelti oluşturur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) I, II ve III

84. I. Kan

II. Serum

III. Sirke

Yukarıdaki maddelerden hangisi tampon çözelti özelliği gösterir?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) I, II ve III

85. Aşağıdaki tabloda kuvvetli ve zayıf asit-bazlar verilmiştir.

Asit	Zayıf/Kuvvetli	Baz	Zayıf/Kuvvetli
HCl	Kuvvetli	NaOH	Kuvvetli
CH_3COOH	Zayıf	KOH	Kuvvetli
HCN	Zayıf	NH_3	Zayıf

Buna göre

I. NaCN

II. CH_3COOK

III. KCl

IV. NH_4Cl

tuzlarından hangilerinin sulu çözeltisi asidik özellik gösterir?

A) I ve II B) Yalnız IV C) III ve IV D) II ve III E) I, II ve IV

86. Tampon çözeltiler ile ilgili

I. pH değerleri seyrelme ve asit/baz ilavesi ile fazla değişmez.

II. Kuvvetli asit ve baz çözeltilerinden oluşur.

III. Elektrik akımını iletirler.

yargılarından hangileri doğru olur?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

87. I. KCN

II. KCl

III. NaF

25 °C'de tuzları ile hazırlanan sulu çözeltilerden hangisinin pH > 7 olur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve III E) I, II ve III

88. 25 °C'de derişimleri ve hacimleri eşit olan CH_3NH_2 ve HCl çözeltileri karıştırıldığında oluşan çözelti için

I. pH = 7 olur.

II. Tampon çözelti özelliği gösterir.

III. Oluşan tuzun katyonu su ile hidrolize uğrar.

yargılarından hangileri doğru olur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve III E) I, II ve III

89. Kuvvetli asit ile zayıf bazın nötralleşmesinden oluşan NH_4Cl tuzu için

I. Suda %100 iyonlaşır.

II. Katyonu su ile hidroliz olur.

III. Sulu çözeltisinde pH < 7'dir.

yargılarından hangileri doğru olur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve III E) I, II ve III

90. 0,2 M 200 mL H_2SO_4 çözeltisi ile 0,3 M 200 mL KOH çözeltisi 25 °C de karıştırıldığında oluşan çözeltinin $[OH^-]$ değeri kaç olur?

A) 2.10^{-13} B) 1.10^{-2} C) 5.10^{-12}

D) 1 E) 13

91. 0,3 M 200 ml HCl çözeltisinin pH'sini artırmak için

I. Su ilave etmek

II. 0,2 M 100 mL HCl çözeltisi ilave etmek

III. 0,1 M 100 mL KOH çözeltisi ilave etmek

işlemlerinden hangileri yapılmalıdır?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

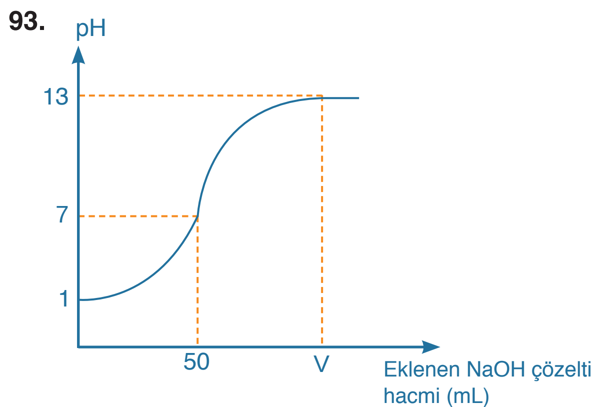
D) I ve II E) I, II ve III

92. 25 °C'de 400 mL pH = 2 olan kuvvetli asit çözeltisi ile 600 mL pOH = 2 olan kuvvetli baz çözeltisi karıştırılıyor. **Buna göre oluşan son çözeltinin $[H^+]$ değeri kaç olur?**

A) 2.10^{-3} B) 1.10^{-2} C) 5.10^{-12}

D) 3 E) 11

93.



25 °C'de 0,1 M 100 mL HCl çözeltisinin NaOH ile titrasyonuna ait grafik yukarıdaki gibidir. Bu verilere göre V değeri kaçtır?

A) 75 B) 100 C) 150

D) 200 E) 250

94.

50 mL 0,1 M H_2SO_4 çözeltisini nötralleştirebilmek için 0,05 M KOH çözeltisinden kaç mL gerekir?

A) 200 B) 100 C) 50 D) 25 E) 10

95. 25 °C'de pH = 2 olan 200 mL H_2SO_4 çözeltisi kaç gram NaOH katısı ile nötralleşir?
(NaOH:40)

A) 4.10^{-2} B) 6.10^{-2} C) 8.10^{-2}

D) 16.10^{-2} E) 2.10^{-3}

96. I. 0,1 M 100 mL $Ba(NO_3)_2$

II. 0,1 M 200 mL Na_2SO_4

III. 200 mL saf su

$BaSO_4$ katısının yukarıda verilen maddelerde aynı sıcaklıkta çözünürlüğünün karşılaştırılması aşağıdakilerden hangisinde doğru verilmiştir?

A) III > I = II B) III > II > I C) I > II > III

D) I = II > III E) III > I > II

97. 25 °C'de pH=3 olan 200 mL H_2SO_4 çözeltisini nötralleştirmek için pH = 10 olan NaOH çözeltisinden kaç litre gerekir?

A) 2 B) 4 C) 400 D) 2000 E) 4000

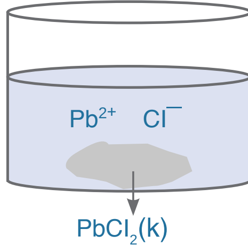
98. 0,1 M 100 mL $Pb(NO_3)_2$ çözeltisi ile 0,2 M 100 mL KBr çözeltisi eşit hacimde karıştırılıyor. **Aynı sıcaklıkta oluşan karışımda NO_3^- ve Br^- iyonları derişimleri kaç mol/L olur?**

($PbBr_2$ için $K_{çç}=4.10^{-6}$)

	$[Br^-]$	$[NO_3^-]$
A)	1	10^{-2}
B)	10^{-2}	5.10^{-2}
C)	2.10^{-2}	0,1
D)	10^{-2}	0,1
E)	5.10^{-2}	10^{-2}

99. $PbCl_2(k)$ + ısı ⇌ $Pb^{2+}(suda) + 2Cl^-(suda)$

Kaptaki çözeltide $PbCl_2(k)$ ile Pb^{2+} ve Cl^- iyonları denge hâlindedir.



Buna göre

I. Çözeltinin sıcaklığı arttırılırsa $PbCl_2$'ün çözünürlüğü artar.

II. Sıcaklık düşürülürse $PbCl_2$'ün çözünürlük çarpımı değeri azalır.

III. Sabit sıcaklıkta kaba NaCl(k) ilave edilirse Pb^{2+} iyon derişimi artar.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

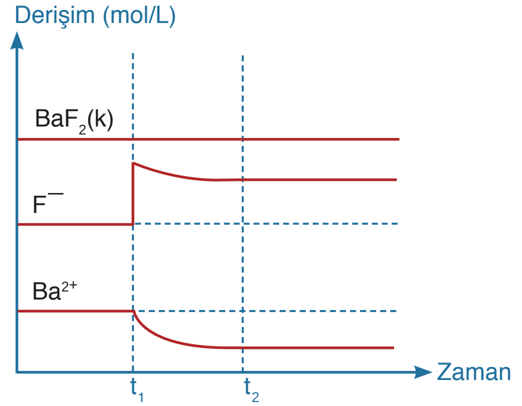
D) I ve II E) I, II ve III

100. CaF_2'ün 0,1 M NaF çözeltisinde çözünürlüğü $1,46.10^{-8}$ M olduğuna göre CaF_2'ün aynı sıcaklıkta çözünürlük çarpımı ($K_{çç}$) kaçtır?

A) $7,3.10^{-8}$ B) $7,3.10^{-10}$ C) $1,46.10^{-10}$

D) $1,46.10^{-8}$ E) 0,1

101. $BaF_2(k)$ + ısı ⇌ $Ba^{2+}(suda) + 2F^-(suda)$



Katısı ile t_1 anında dengede olan çözeltiye

I. Sıcaklığı arttırmak

II. NaF(k) ilave etmek

III. $Ba(NO_3)_2(k)$ ilave etmek

etkilerinden hangileri tek başına yapıldığında çözeltideki maddelerin derişimlerindeki değişim grafikteki gibi olur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

D) I ve II E) I, II ve III

102. 25 °C'de 2 L su ile hazırlanan doygun $BaSO_4$ çözeltisinde kaç mol $BaSO_4$ çözünmüştür?

(25 °C'de $BaSO_4$ için $K_{çç}=1.10^{-10}$).

A) 1.10^{-5} B) 2.10^{-5} C) 4.10^{-5}

D) 1.10^{-10} E) 2.10^{-10}

103. 200 mL $1,2.10^{-4}$ M $CaCl_2$ çözeltisine 200 mL K_2SO_4 çözeltisi eklendiğinde bir çökelme olabilmesi için K_2SO_4'ün başlangıç derişimi en az kaç molar olmalıdır? ($CaSO_4$ için $K_{çç}=4,8.10^{-9}$)

A) $1,6.10^{-3}$ B) $3,2.10^{-3}$ C) $6,4.10^{-3}$

D) $1,6.10^{-4}$ E) $1,6.10^{-5}$

PERİYODİK CETVEL

Ortalama atom kütlesi → 1.008; Atom numarası → 1; Element sembolü → H; Element adı → Hidrojen

Halojenler, Alkali Metaller, Toprak Alkali Metaller, Geçiş Metalleri, Lantanitler, Yarı Metaller, Diğer Metaller, Ametaller, Soygazlar, Aktinitler

1 IA	2 IIA	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIIIB	9 VIIIB	10 VIIIB	11 IB	12 IIB	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA
1.008 H 1 Hidrojen																	4.002602 He 2 Helyum
6.94 Li 3 Lityum	9.0121831 Be 4 Berilyum											10.81 B 5 Bor	12.011 C 6 Karbon	14.007 N 7 Azot	15.999 O 8 Oksijen	18.998403163 F 9 Flor	20.1797 Ne 10 Neon
22.98976928 Na 11 Sodyum	24.305 Mg 12 Magnezyum											26.9815385 Al 13 Alüminyum	28.085 Si 14 Silisyum	30.973761998 P 15 Fosfor	32.06 S 16 Kükürt	35.45 Cl 17 Klor	39.948 Ar 18 Argon
39.0983 K 19 Potasyum	40.078 Ca 20 Kalsiyum	44.955908 Sc 21 Skandiyum	47.867 Ti 22 Titanyum	50.9415 V 23 Vanadyum	51.9961 Cr 24 Krom	54.938044 Mn 25 Manganez	55.845 Fe 26 Demir	58.933194 Co 27 Kobalt	58.6934 Ni 28 Nikel	63.546 Cu 29 Bakır	65.38 Zn 30 Çinko	69.723 Ga 31 Galyum	72.630 Ge 32 Germanyum	74.921595 As 33 Arsenik	78.971 Se 34 Selenyum	79.904 Br 35 Brom	83.798 Kr 36 Kripton
85.4678 Rb 37 Rubidyum	87.62 Sr 38 Stronsiyum	88.90584 Y 39 İtriyum	91.224 Zr 40 Zirkonyum	92.90637 Nb 41 Nibodyum	95.95 Mo 42 Molibden	(98) Tc 43 Teknesyum	101.07 Ru 44 Rutenyum	102.90550 Rh 45 Rodyum	106.42 Pd 46 Palladyum	107.8682 Ag 47 Gümüş	112.414 Cd 48 Kadmiyum	114.818 In 49 İndiyum	118.710 Sn 50 Kalay	121.760 Sb 51 Antimon	127.60 Te 52 Tellür	126.90447 I 53 İyot	131.293 Xe 54 Ksenon
132.90545196 Cs 55 Sezyum	137.327 Ba 56 Baryum	174.967 Lu 71 Lütesyum	178.49 Hf 72 Hafniyum	180.94788 Ta 73 Tantal	183.84 W 74 Tungsten	186.207 Re 75 Renyum	190.23 Os 76 Osmiyum	192.217 Ir 77 İridyum	195.084 Pt 78 Platin	196.966569 Au 79 Altın	200.592 Hg 80 Cıva	204.38 Tl 81 Talyum	207.2 Pb 82 Kurşun	208.98040 Bi 83 Bizmut	(209) Po 84 Polonyum	(210) At 85 Astatin	(222) Rn 86 Radon
(223) Fr 87 Fransiyum	(226) Ra 88 Radyum	(260) Lr 103 Lavrensiyum	(267) Rf 104 Rutherfordiyum	(268) Db 105 Dubniyum	(269) Sg 106 Seaborgiyum	(270) Bh 107 Bohriyum	(269) Hs 108 Hasmiyum	(278) Mt 109 Meitneriyum	(281) Ds 110 Darmstadtiyum	(282) Rg 111 Röntgenyum	(285) Cn 112 Kopernikyum	(286) Nh 113 Nihonyum	(289) Fl 114 Flerovyum	(289) Mc 115 Moskovyum	(293) Lv 116 Livermoryum	(294) Ts 117 Tennessine	(294) Og 118 Oganesson

138.90547 La 57 Lantan	140.116 Ce 58 Seryum	140.90766 Pr 59 Praseodim	144.242 Nd 60 Neodim	(145) Pm 61 Prometyum	150.36 Sm 62 Samaryum	151.964 Eu 63 Evropyum	157.25 Gd 64 Gadolinyum	158.92535 Tb 65 Terbiyum	162.500 Dy 66 Disprosiyum	164.93033 Ho 67 Holmiyum	167.259 Er 68 Erbiyum	168.93422 Tm 69 Tulyum	173.045 Yb 70 İterbiyum
(227) Ac 89 Aktinyum	232.0377 Th 90 Toryum	231.03588 Pa 91 Protaktinyum	238.02891 U 92 Uranyum	(237) Np 93 Neptünyum	(244) Pu 94 Plütonyum	(243) Am 95 Amerikyum	(247) Cm 96 Kuriyum	(247) Bk 97 Berkelyum	(251) Cf 98 Kalifoniyum	(252) Es 99 Ayrıştaynum	(257) Fm 100 Fermiyum	(258) Md 101 Mendelevyum	(259) No 102 Nobelyum

CEVAP ANAHTARI

1. Ünite Cevap Anahtarı

Alıştırmalar		Uygulama Soruları 1.1		Uygulama Soruları 1.2		B						
1.1	a, d, e	1)	0	a)	$_{12}Mg$ s, $_{30}Zn$ d, $_{15}P$ p bloğu	6.	a)	D	b)	Y	c)	Y
1.2	a, ç	3)	8B	b)	$_{12}Mg$: 3. Periyot 2A $_{30}Zn$: 4. Periyot 2B $_{15}P$: 3. Periyot 5A		ç)	D	d)	D	e)	D
1.3	a) 4. Periyot 7B b) 5 e^-, c) 15 e^-					7.	a)	Y	b)	Y	c)	Y
1.5	$_{20}Ca$, $_{26}Fe^{3+}$						ç)	Y	d)	D		
1.6	I	4)	3	c)	Mg ve Zn metal,P ametal	8.	a)	Y	b)	D		
1.7	$_9F^- > {}_{10}Ne > {}_{12}Mg^{2+} > {}_{13}Al^{3+}$			ç)	Mg: +2, Zn: +2, P: -3, +5 aralığı	9.	a)	Y	b)	D	c)	Y
1.8	$İE_1$: $_9F > {}_4Be > {}_5B$ $İE_2$: $_9F^+ > {}_5B^+ > {}_4Be^+$			d)	Mg ve Zn iyonik bağ, P kovalent bağ							
1.9	$_{11}Na^+ > {}_{10}Ne > {}_9F^-$											
1.10	Y > X > Z			e)	Mg ve Zn metal P ametal							
1.12	a) 3+ b) 4+ c) 5+ ç) 5+ d) 3+											

C		Ç		D							
10.	uyarılmış hâl	25.	$n = 4$, $\ell = 1$, $m_\ell = -1,0,+1$	55.	B	65.	A	75.	C	85.	D
11.	orbital	32.	a, c, ç, d	56.	C	66.	A	76.	A	86.	A
12.	sıfır	33.	$_{18}Ar$-$_{20}Ca^{2+}$, $_{12}Mg^{2+}$-$_8O^{2-}$	57.	D	67.	B	77.	C	87.	E
13.	Hund	37.	4. Periyot 8B	58.	D	68.	E	78.	B	88.	E
14.	Aufbau	38.	4. Periyot 4B	59.	C	69.	C	79.	C	89.	C
15.	-1	39.	4. Periyot 8B	60.	A	70.	A	80.	E	90.	D
16.	+1	43.	K > Na > Mg > Al	61.	A	71.	B	81.	B	91.	B
17.	asidik	44.	Na > Mg > Li > B > F > Ne	62.	C	72.	D	82.	A		
18.	bazik	46.	$İE_1$: Mg > Al > Na $İE_2$: $_{11}Na^+ > {}_{13}Al^+ > {}_{12}Mg^+$	63.	E	73.	C	83.	D		
19.	flor			64.	B	74.	E	84	E		
20.	helyum										

2. Ünite Cevap Anahtarı

Alıştırmalar						Uygulama Soruları 2.1	
2.1	a) 0,5 b)95	2.12	56	2.22	a)P_{O_2}= 1,P_{H_2}=1,5 b)P_T= 3	1.	4
	c) 986,9 ç) 303975	2.13	44	2.23	174	2.	I. 1. kap artar, 2. kap değişmez II. artar III. 1. kap değişmez, 2. kap artar
	d)190 e) 2280	2.14	a)28 b)44,8	2.24	724		
2.2	700	2.15	16	2.25	7P/5		
2.3	400	2.16	72	2.26	3P/4		
2.4	B, C	2.17	4	2.27	P_{N_2} = 8 P_{H_2} = 0 P_{NH_3} = 24 P_T = 32		
2.5	1,5	2.18	$T_{III} > T_{II} > T_I$ I.SO_2 II.CH_4 III.He	2.28	H_2, He, CH_4, CO_2, SO_2	3.	2
2.6	32	2.19	16			4.	a) $n_A > n_B > n_C$ b) $v_A > v_B > v_C$ c) $d_A = d_B = d_C$
2.7	7,68	2.20	a) azalır b) P c)1/2				
2.8	1,64	2.21	P_{N_2} = 4, P_{CH_4} = P_{O_2} = 1				
2.9	4,8						
2.10	64						
2.11	a)-273 ve 0						
	b) $n_K > n_L$ c) $M_L > M_K$						

B			C		Ç				D					
5.	a) Y	b)D	10.	Boyle	24.	64	41.	1,5P	56.	B	70.	A	84.	D
	c) D	ç)Y	11.	Avogadro	25.	16	42.	a) $v_{He} > v_{CH_4}$	57.	C	71.	B	85.	C
6.	a) Y	b)Y	12.	Charles	26.	2		b P_{He}= 4P_{CH_4}	58.	D	72.	B	86.	A
	c) D	ç)Y	13.	Gay Lussac	27.	11,2		c) d_{He}= 2d_{CH_4}	59.	B	73.	D	87.	C
7.	a) D	b)Y	14.	11,2	28.	45	43.	18	60.	A	74.	B	88.	C
	c) D		15.	30	29.	32	44.	16T	61.	C	75.	D	89.	E
8.	a) D	b)Y	16.	Mol kütlesi mutlak sıcaklık	30.	1	45.	0,12	62.	E	76.	E	90.	E
	c)D		17.	4	32.	d	46.	P_{He}=144, P_{CH_4}=36	63.	C	77.	B		
9.	a)Y	b)D	18.	60	34.	8	48.	5	64.	D	78.	C		
	c)Y	ç)D	19.	Buhar	35.	14	49.	I.artar,	65.	C	79.	B		
			20.	Soğutucu akışkan	36.	14		II ve III.azalır	66.	D	80.	C		
					37.	9	50.	1,5P	67.	D	81.	A		
					39.	16,4	53.	40	68.	E	82.	D		
					40.	2P	55.	8/9	69.	C	83.	D		

3. Ünite Cevap Anahtarı

Alıştırmalar		Uygulama Soruları 3.1		Uygulama Soruları 3.2		C	
3.3	100,52	1.	1,4	1	a) azalır	11.	İyon-dipol
3.4	0,4	2.	500		b) 40	12.	Ekzotermik
3.5	a)102,6 b)-9,3	3.	1,5		c) 29	13.	ppm
3.6	-3a	4.	0,4		ç) 5	14.	Molarite
3.7	4	5.	2	2	10	15.	Aşırı doymuş
3.8	35,5	6.	4	**B**		16.	Koligatif
3.9	175	7.	23,8	6.	a)Y b)D c)D ç)Y	17.	1
3.10	42,6	8.	500	7.	a)Y b)D c)Y ç)D	18.	doygun
3.11	20	9.	1	8.	a)D b)Y c)D	19.	doğru
		10.	a)20 b)6,25	9.	a)Y b)D c)D	20.	0,4
		11.	273,2	10.	a)Y b)D c)D ç)Y		

Ç								D							
24.	32	30.	a) 24	35.	a)0,4	43.	155	47.	A	55.	E	63.	A	71.	C
25.	600-200		b) 3/4		b)1,1	44.	12	48.	A	56.	B	64.	C	72.	C
26.	175		c) 135		c)0,8	45.	500	49.	E	57.	A	65.	E	73.	E
27.	%10	31.	24	36.	17	46.	a)26	50.	D	58.	D	66.	B	74.	D
28.	4	32.	0,5	37.	82		b)16	51.	A	59.	C	67.	A	75.	A
29.	C_3H_8: 1/4	33.	0,7	39.	20			52.	B	60.	B	68.	D	76.	C
	N_2: 1/2	34.	1	40.	32			53.	B	61.	C	69.	A	77.	A
	CH_4: 1/4			42.	102,34			54.	D	62.	D	70.	A	78.	C

4. Ünite Cevap Anahtarı

Alıştırmalar				Uygulama Soruları		B			
4.2	a)0,5 b)28 c)11,2	4.5	50	1.	264,4	5.	a)D b)Y c)Y	7.	a)D b)Y
4.3	a)-174,44 b)-638,4	4.6	-183	2.	-1010		ç) D d)D		c)Y ç)Y
	c)41,2	4.7	824	3.	a) -393	6.	a) D b)Y c)Y	8.	a)D b)Y
4.4	445,15	4.8	66		b) ekzotermik		ç)Y d)D e)Y		c)D ç)Y

C				Ç				D					
9.	sıfır	16.	120,9	25.	a) ekzotermik	29.	2	35.	C	41.	B	47.	C
10.	ekzotermik	17.	kalori		b) -14 ve -36	30.	436	36.	D	42.	E	48.	D
11.	düşük	18.	entalpi		c)-22 ç) ürünler	31.	-676	37.	A	43.	D	49.	B
12.	oluşma entalpisi	19.	pozitif		d)11 e)11	32.	-1322	38.	B	44.	D	50.	E
13.	+90	20.	girenler	26.	-1234,7	33.	$3Q_3-Q_1-Q_2$	39.	B	45.	C		
14.	bağ enerjisi			28.	a)-47,6 b) 2,38	34.	b) +180 c) 36	40.	E	46.	D		
15.	Hess Yasası				c) 3,6		ç) artar						

5. Ünite Cevap Anahtarı

Alıştırmalar				B					
5.1	88	5.7	ç) çok basamaklı	7.	a)	D	8.	a)	Y
5.2	+5		d) 4 kat		b)	Y		b)	Y
5.3	a) azalır b)2.10^{-5} b)1.10^{-5}	5.8	a) değişmez		c)	Y		c)	D
5.4	a) 6.10^{-2} b)$3,6.10^{-2}$ c)$1,2.10^{-2}$		b) 3 kat		ç)	Y		ç)	D
5.5	a) $2N_2O(g) \rightarrow 2N_2(g) + O_2(g)$		c) 1/4'üne düşer		d)	D		d)	Y
	b) Cl ve ClO c)2 ç)2	5.9	a) artar		e)	Y		e)	D
	d) $r = k[N_2O][Cl]$		b) değişmez		f)	Y		f)	Y
5.6	$r=k[XY_2][Z_2]$		c) artar		g)	Y		g)	Y
5.7	a) $r=k[NO_2]^2$		ç) artar		ğ)	D		ğ)	Y
	b) $k=21.10^{-2}$ L/mol.s	5.12	$k_I > k_{II} > k_{III}$		h)	Y		h)	D
	c) NO_2; 2, CO; 0, tep. derecesi 2				ı)	Y			

C		Ç				D			
9.	etkin çarpışma	22.	a) I > III > II	30.	a) $r=k[A][B]^2$ b)3	35.	D	47.	B
10.	yavaş	23.	a) N_2, H_2 ekleme, katalizör	31.	a)$Cl_2(g) + CHCl_3(g) \rightarrow HCl(g) + CCl_4(g)$	36.	A	48.	B
11.	tepkime entalpisi		b) V azaltma, katalizör		b) $r=k[Cl][CHCl_3]$	37.	B	49.	B
12.	ara ürün		c) T arttırma, katalizör		c) 2 ç)2	38.	B	50.	D
13.	geri aktivasyon en.		ç) katalizör		d) Cl(g) ve $CCl_3(g)$	39.	E	51.	C
14.	çok basamaklı	24.	Fe katısında yüzey arttırma	32.	a) II. T_1, I. T_2	40.	C	52.	E
15.	eşik enerjisi		HCl derişimini arttırma		b)$E_{k_1} > E_{k_2}$	41.	E	53.	B
16.	mol/L.s		katalizör		c) $T_1 > T_2$ ç)$k_1 > k_2$	42.	C	54.	E
17.	24	27.	175	33.	a) $r=k[A]^2[B]$	43.	E	55.	D
18.	4	28.	$2,7.10^{-5}$		b)10 c)3	44.	D	56.	E
19.	molekülerite	29.	a)2 b)$E_{ai} > E_{ag}$ c)I		ç)$1,6.10^{-4}$	45.	B		
20.	ürün		ç) I.endotermik, II.ekzotermik	34.	100 kJ	46.	D		

6. Ünite Cevap Anahtarı

Alıştırmalar						B	
6.1	2,7	6.11	1/24	6.23.	4,52	5.	a)D b)Y c)D
6.2	a) 4	6.13	0,81	6.24.	4,7		ç)Y
	b) k_i=0,5 k_g=0,125	6.14.	a)$[H^+] = 10^{-12}$	6.25.	0,001	6.	a) D b)D c)Y
	c) 54		$[OH^-] = 10^{-2}$	6.26.	13		ç) D d)Y
6.3	3/20		b)pH=12	6.27.	50		e) Y
6.4	273		pOH=2	6.28.	3	7.	a) Y b)D c)Y
6.5	1/11,2	6.17.	$[H^+]=[NO_3^-]$= 0,025 $[OH^-]= 4.\ 10^{-13}$	6.30.	a) 100 b) 7 c) 1		ç) D d)D e)D
6.6	Dengede değil	6.18.	1,12	6.32.	a) $1,25.10^{-4}$ b) $1,56.10^{-8}$		f)Y g)Y ğ)D
	Ürünlere gider	6.19.	pH= 4,2 $K_a= 4,9\ 10^{-8}$	6.33.	$8,64.10^{-7}$		h)Y
6.7	K_c=1,8 K_p= 3,6	6.20.	$[OH^-]= 8.\ 10^{-7}$ pOH= 6,1 pH= 7,9 $K_b=8.10^{-10}$	6.34.	çökelme olur		
6.8	0,45	6.21.	pH= 4 $K_b= 1.10^{-8}$	6.35.	$[Ba^{2+}]= 2.10^{-8}$ $[SO_4^{2-}]= 5.\ 10^{-3}$		
6.9	0,5	6.22.	6,4	6.36.	$4.\ 10^{-4}$		
6.10	a) azalır b) artar c) artar			6.37.	a) 10^{-4} b) 10^{-5} c) 10^{-10}		
				6.38.	$2,5.\ 10^{-4}$		

C		Ç				D							
8.	girenler	25.	4	37.	a) artar	46.	E	61.	E	76.	E	91.	E
9.	kapalı	26.	a) 2		b) azalır	47.	A	62.	B	77.	B	92.	C
10.	tersinir		b) 201.6		c) artar	48.	C	63.	B	78.	B	93.	D
11.	ileri	28.	0,2		ç) değişmez	49.	E	64.	E	79.	C	94.	A
12.	ters	29.	3		d) artar	50.	A	65.	C	80.	A	95.	C
13.	bazik	32.	a) azalır		e) azalır	51.	A	66.	C	81.	E	96.	A
14.	proton		b) azalır	38.	11	52.	B	67.	B	82.	A	97.	A
15.	zayıf		c) artar	41.	200	53.	C	68.	E	83.	D	98.	C
16.	4.10^{-4}		ç) artar	43.	10^4	54.	D	69.	E	84.	D	99.	D
17.	tampon		d) artar	44.	5.10^{-13}	55.	E	70.	D	85.	B	100.	C
18.	anyonu	36.	$n_{H^+}=1,4.10^{-6}$		a) azalır	56.	D	71.	C	86.	C	101.	B
19.	0,4		$[OH^-]=1/7.10^{-8}$	45.	b) artar	57.	C	72.	E	87.	D	102.	B
20.	10^{-4}				c) azalır	58.	D	73.	D	88.	C	103.	D
21.	nötr					59.	C	74.	A	89.	E		
						60.	D	75.	C	90.	A		

SÖZLÜK

absorbsiyon : Bir maddenin başka bir madde veya enerjiyi soğurma yeteneği.

açısal momentum kuantum sayısı (ℓ) : Orbitalin türünü ve şeklini açıklayan sayı.

aktifleşme enerjisi (eşik enerjisi) : Kimyasal bir tepkimenin gerçekleşebilmesi için reaksiyona giren taneciklerin sahip olması gereken en düşük kinetik enerji.

aktifleşmiş kompleks : Tepkimeye girenlerden ürün oluşurken geçiş hâlinde bulunan bir ara ürün.

alkaloz : pH değerinin normal aralığın üzerine çıkması.

ametalik aktiflik : Ametallerin elektron alma eğilimi.

asidoz : pH değerinin normal aralığın altına düşmesi.

asit : Sulu çözeltilerine hidrojen iyonu verebilen (proton veren) madde.

aşırı doygun çözelti : Yüksek sıcaklığın etkisiyle normalde çözebileceğinden fazla miktarda madde çözmüş çözelti.

bağ enerjisi : Moleküler bir gazın bir molünün atomlarını bir arada tutan bağın standart şartlarda kırılması için gerekli enerji.

barometre : Atmosfer basıncını ölçen düzenek.

basınç : Birim alana dik olarak uygulanan kuvvet.

baş kuantum sayısı (n) : Elektronun ait olduğu kabuğu veya enerji düzeyini belirten sayı.

baz : Sulu çözeltilerine hidroksit iyonu verebilen (proton alan) madde.

Brown hareketi : Gaz moleküllerinin her yöne doğru hızlı, sürekli, doğrusal ve zikzaklı olan hareketleri.

buhar : Gazların özelliklerini taşıyan ancak bulunduğu sıcaklıkta herhangi bir basınçta sıvılaşabilen akışkan.

buhar basıncı : Sıvı yüzeyinden ayrılan moleküllerin kendi sıvısı üzerine yaptığı basınç.

çarpışma teorisi : Kimyasal bir tepkimenin çarpışmalar sonucu gerçekleştiğini ileri süren teori.

çökelek : Çöken madde.

çökme : Doygunluk sınırının üzerinde olan iyonların birleşerek çözeltiden ayrılması.

çözelti : İki veya daha fazla maddenin birbiri içerisinde homojen olarak karışmasıyla oluşan madde.

çözünme : Bir maddenin başka bir madde içinde gözle görülemeyecek şekilde homojen olarak dağılması.

çözünürlük : Belirli sıcaklık ve basınçta, belirli miktardaki çözücüde çözünebilen en fazla madde miktarı.

çözünürlük dengesi : Dibinde katısı bulunan doymuş çözeltilerde, çözünme hızı çökelme hızına eşit olduğunda birim zamanda kapta bulunan katıdan çözeltiye geçen iyonlar ile çöken iyonlar arasında kurulan denge.

değerlik elektronları : Bir atomun en dış katmanındaki elektronlar.

değerlik orbitalleri : Bir atomun değerlik elektronlarının bulunduğu orbitaller.

denge buhar basıncı : Bir sıvının üzerindeki buhar ile dengede olduğu andaki buharın basıncı.

derişik çözelti : Çözüneni çok olan çözelti.

derişim (konsantrasyon) : Belirli miktardaki çözelti veya çözücüde çözünmüş olan madde miktarı.

difüzyon (yayılma) : Gaz moleküllerinin başka gaz molekülleri ile kinetik özelliklerinden dolayı yavaş yavaş karışması.

doygun çözelti : Belirli bir sıcaklık ve basınçta bir çözücünün çözebildiği en fazla madde miktarıyla oluşturduğu çözelti.

doymamış çözelti : Belirli bir sıcaklık ve basınçta bir çözücünün çözebildiği en fazla madde miktarından daha az madde miktarıyla oluşturduğu çözelti.

dönüm noktası : Titrasyonda hem asit hem de bazın tükendiği, indikatörün renk değiştirdiği nokta.

ebülyoskopi : Kaynama noktası yükselmesi ile çözünenin mol kütlesinin tayin edilmesi.

efüzyon (dışa yayılma) : Basınç altındaki bir gazın, kabın bir bölmesinden diğer bölmesine küçük bir delikten geçerek yayılması.

ekzotermik tepkime : Bulunduğu ortama ısı vererek gerçekleşen tepkime.

elektronegatiflik : Bir atomun bağ yapan elektronlarını kendine çekme yeteneği (atomun bağ elektronlarına sahip çıkma isteği).

elektron ilgisi : Gaz hâlindeki nötr bir atomun bir elektron alması sırasındaki enerji değişimi.

endotermik tepkime : Bulunduğu ortamdan ısı alarak gerçekleşen tepkime.

etkin çarpışma : Tepkimeyle sonuçlanan çarpışma.

faz : Her tarafı aynı homojenlikte olan, sınırları tanımlanabilen, diğer fazlardan fiziki olarak ayrılabilen sıvı, gaz veya katı sistemin bir parçası.

faz diyagramı : Katı, sıvı ve gazların tek fazlar ya da bunlardan ikisi veya daha çoğunun dengede olduğu fazlar şeklinde bulunduğu sıcaklık ve basınç koşullarının grafikle gösterimi.

fiziksel denge : Maddelerin içyapıları değişmeden sadece fiziksel hâlleri arasında ve belirli şartlarda kurulan denge.

gaz : Bulunduğu sıcaklıkta hiçbir basınç altında sıvılaştırılamayan sıkıştırılabilir akışkan.

gerçek gaz : Kinetik teorinin varsayımlarına yani gaz yasalarına tam olarak uymayan gaz.

heterojen denge : Tepkimeye giren maddeler ile ürünlerden en az birinin farklı fiziksel hâlde bulunduğu denge.

hidroliz : Bir iyonun su ile tepkimeye girerek H_3O^+ veya OH^- iyonu oluşturması.

hipertonik : Yarı geçirgen zar ile ayrılmış iki farklı çözeltiden derişimi yüksek olan çözelti.

hipotonik : Yarı geçirgen zar ile ayrılmış iki farklı çözeltiden derişimi düşük olan çözelti.

homojen denge : Tepkimeye giren maddelerle ürünlerin aynı fazda bulunduğu denge.

ideal gaz : Kinetik teorinin varsayımlarına yani gaz yasalarına tam olarak uyan gaz.

indikatör : Bir kimyasal titrasyonun dönüm noktasına yaklaşıldığında veya dönüm noktasında renk değişimi gibi fiziksel görünümü değişen madde.

iyonlaşma enerjisi : Gaz hâldeki nötr bir atomdan bir elektron koparmak için gerekli enerji.

iyonik yarıçap : İyonik bağla bağlanmış iyonların çekirdekleri arasındaki uzaklığa göre belirlenen yarıçap.

iyon çarpımı : Tepkimenin herhangi bir anındaki iyon derişimlerinin çarpımı.

iyon yarıçapı : Bir atomun elektron verdiğinde katyon hâlindeki, elektron aldığında ise anyon hâlindeki yarıçapı.

iyon yükü : İyonik bileşiklerde metalin elektron vererek ametalin ise elektron alarak kazandığı yük.

izoelektronik : Proton sayıları farklı, elektron sayıları ve elektron dizilimleri aynı tanecikler.

izotonik çözelti : Derişimleri eşit olan çözeltiler.

kalori : 14,5 °C'deki bir gram suyun sıcaklığını 1 °C yükseltmek için gerekli ısı miktarı. 1 cal = 4,18 Joule

kalorimetre : Kimyasal tepkimelerdeki veya fiziksel değişmelerdeki ısı değişimini ölçmede kullanılan cihaz.

katalizör : Tepkime hızını arttıran ve tepkime sonunda değişmeden çıkan madde.

kaynama noktası : Bir sıvının buhar basıncının atmosfer basıncına eşit olduğu sıcaklık.

kısmi basınç : Bir gaz karışımında bulunan gazların her birinin ayrı ayrı uyguladığı basınç.

kimyasal denge : İleri ve geri yöndeki tepkime hızlarının eşit olduğu, derişim ve sıcaklığın sabit kaldığı anda kurulan denge.

kritik basınç : Kritik sıcaklıkta sıvılaştırmanın sağlanabileceği en düşük basınç değeri.

kritik sıcaklık : Gaza uygulanan basınç ne kadar yüksek olursa olsun sıvılaştırılamadığı sıcaklık sınırı değeri.

kriyoskopi : Donma noktası alçalması yöntemiyle bir maddenin mol kütlesinin tayini.

koligatif özellikler : Bir çözeltide derişime bağlı özellikler.

konjuge (eşlenik) asit-baz çifti : Aralarında bir hidrojen (proton) fark olan asit-baz çifti.

kovalent yarıçap : Tek bir kovalent bağla bağlanmış eşdeğer iki atomun çekirdekleri arasındaki uzaklığın yarısı.

kuru buz : Katı karbon dioksit.

küresel simetri : Bir atomun elektron dizilimindeki en son orbital türünün yarı dolu ya da tam dolu hâli.

kütlece yüzde derişim : 100 g çözeltide çözünmüş maddenin gram cinsinden miktarı.

Le Châtelier İlkesi : Dengedeki bir sisteme dışarıdan bir etki uygulandığında sistemin, bu etkiyi karşılayacak yöne tepki vererek yeniden dengeye ulaştığını ifade eden ilke.

manometre : Kapalı kaplardaki gaz basıncını ölçen düzenek.

manyetik kuantum sayısı (m_ℓ) : Orbitalin uzaydaki yönelimini gösteren sayı.

mekanizmalı tepkime : Birden çok ara basamaktan oluşan tepkime.

membran : Yarı geçirgen zar.

metalik aktiflik : Metallerin elektron verme eğilimi.

mol kesri : Bir çözeltideki bileşenin mol sayısının çözeltideki bileşenlerin mol sayılarının toplamına oranı.

molalite : 1 kilogram çözücüde çözünen maddenin mol sayısı.

molar çözünürlük : 1 L doygun çözeltide çözünmüş olan maddenin mol sayısı.

molarite : 1 litre çözeltide çözünen maddenin mol sayısı.

molekülerite : Net tepkime denkleminde reaktiflerin katsayıları toplamı.

normal koşullar : 0 °C sıcaklık ve 1 atm basınç koşulları.

nötralleşme : Bir asitle bazın tuz ve su oluşturduğu tepkime.

nötron : Atom çekirdeğindeki nötr tanecik.

orbital : Atomda elektronun bulunma olasılığının yüksek olduğu, belirli enerjisi olan uzay bölgesi.

ortak iyon etkisi (tamponlama) : İyonlaşmanın geri dönmesi.

ortalama hız : Bir tepkimede giren ya da ürünlerin madde miktarlarının belli zaman aralığındaki değişimi

ortam (çevre) : Sistemin dışında kalan evren parçası.

osmoz : Yarı geçirgen zarla ayrılmış derişimleri farklı çözeltilerde, derişimi az olan çözeltiden derişimi fazla olan çözeltiye çözücü moleküllerin geçmesi olayı.

oto-iyonizasyon (otoprotoliz) : Su moleküllerinin H_3O^+ (H^+) ve OH^- iyonlarına ayrılması.

Pp

pH : Hidrojen iyonu derişiminin (mol/L olarak) negatif logaritması.
pOH : Hidroksit iyonu derişiminin (mol/L olarak) negatif logaritması.
ppm : 1 kg çözeltide veya çözücüde çözünenin miligram miktarı.

Rr

radikal : Üzerinde ortaklaşmamış elektronu olan yüksek enerjili, kararsız kimyasal tür.
radyoaktif : Çekirdek bozunması ile ışın verebilen.

Ss

seyreltik çözelti : Çözüneni az olan çözelti.
soğutucu akışkan : Ortamdan ısı alarak buharlaşan ve ortam sıcaklığını düşüren madde.
spektroskopi : Madde ile ışık etkileşimini inceleyen spektrum analizlerinden madde yapısı ve özellikleri hakkında bilgi edinilen bir bilim dalı.
spektrum : Beyaz ışığın yaydığı ışınların bir prizmadan geçirilmesi ile elde edilen bütün renk ve dalga boylarını içeren çizgiler.
spin kuantum sayısı (m_s) : Elektronun dönme yönünü belirten sayı.
standart entalpi değişimi : 25 ^{o}C ve 1 atm basınçtaki entalpi değişimi.
standart oluşum entalpisi : Bir bileşiğin standart koşullarda elementlerinden oluştuğu tepkimenin entalpisi.

Tt

tampon çözelti : pH değerinin değişimine direnç gösteren çözelti.
temel hâl : Bir atomun elektron diziliminin en kararlı hâli.
tepkime derecesi : Tepkime hız denklemindeki derişimlerin üslerinin toplamı.
tepkime entalpisi (tepkime ısısı) : Bir kimyasal tepkimede alınan ya da salınan ısı.
tepkime hızı : Birim zamandaki madde miktarı değişimi.
ters osmoz : Osmotik basınçtan büyük bir basınç uygulandığında çözücünün, derişimi çok olan ortamdan derişimi az olan ortama geçmesi.
tersinir (çift yönlü) tepkime : Her iki yönde devam eden tepkime.
tersinmez tepkime : Tepkimeye giren maddelerden birinin tükenmesi ile sonlanan tek yönlü tepkime.
titrasyon : Çözeltideki maddenin derişimini bulmak için onunla tepkimeye giren derişimi bilinen çözeltiden belirli hacimlerde ekleyip tepki menin bitim noktasını gözleyerek, gerçekleştirilen analiz yöntemi.

Uu

uçucu sıvılar : Oda koşullarında buhar basıncı yüksek olan sıvılar.
uyarılmış hâl : Temel hâldeki bir atomun enerji alarak elektronlarını üst enerji katmanlarına çıkarması.

Vu

Van der Waals yarıçapı : Soy gazlar ve aynı cins moleküller için katı hâlde hesaplanan yarıçap.

DİZİN

A

B

C

D

E

F

G

H

İ

J

K

L

M

N

O

P

R

S

T

Y

KAYNAKÇA

A. O. AYDIN, V. SEVİNÇ ve A. İ. ŞENGİL, **Temel Kimya,** İstanbul: Değişim Yayınları, 2010.

B. ÇETİNKAYA, **Anorganik Kimya,** Malatya: İnönü Üniversitesi Yayınları, 1993.

C. E. MORTIMER, **Modern Üniversite Kimyası,** İstanbul: Çağlayan Kitabevi, 1993.

C. KAYA, **İnorganik Kimya,** Ankara: Palme Yayıncılık, 2011.

E. ÇAYKARA, **Oktay Sinanoğlu Türk Aynştaynı,** İstanbul: Alfa Yayınları, 2007.

E. ERDİK ve Y. SARIKAYA, **Temel Üniversite Kimyası,** Ankara: Gazi Kitabevi, 2014.

G. SOMER ve A. YAŞAR, **Kimya Terimleri Sözlüğü,** İstanbul: Türk Dil Kurumu Yayınları, 2009.

H. ÖLMEZ ve V. T. YILMAZ, **Anorganik Kimya Temel Kavramlar,** Bursa: MKM Yayıncılık, 2010.

H. GÜLER, D. SARAYDIN ve U. ULUSOY, **Genel Kimya Laboratuvarı,** Ankara: Hatipoğlu Yayıncılık, 2012.

H. BAĞ, **Genel Kimya 1,** Ankara: Pegem Akademi, 2014.

H. BAĞ, **Genel Kimya 2,** Ankara: Pegem Akademi, 2013.

J. T. NIVALDO, **Genel Kimya,** Ankara: Nobel Yayıncılık, 2016.

M. A. ZEREN, **Atomlar Moleküller,** İstanbul: Birsen Yayınevi, 2008.

M. J. SIENKO ve R. A. PLANE, **Temel Kimya,** Ankara: Savaş Kitap ve Yayınevi, 1983.

N. K. TUNALI ve S. ÖZKAR, **Anorganik Kimya,** Ankara: Gazi Kitabevi, 2011.

P. ATKINS ve J. D. PAULA, **Fizikokimya,** Ankara: Bilim Yayınları, 2013.

P. ATKINS ve L. JONES, **Genel Kimya,** Ankara: Palme Yayıncılık, 2013.

P. ATKINS ve L. JONES, **Temel Kimya Moleküller, Maddeler ve Değişimler,** Ankara: Bilim Yayıncılık, 1999.

R. H. PETRUCCI, F. G. HERRING, J. D. MADURA ve C. BISSONNETTE, **Genel Kimya İlkeler ve Modern Uygulamalar,** Ankara: Palme Yayıncılık, 2015.

R. CHANG ve K. A. GOLDSBY, **Genel Kimya Temel Kavramlar,** Ankara: Palme Yayıncılık, 2016.

S. ALPAYDIN ve A. ŞİMŞEK, **Genel Kimya,** Konya: Eğitim Kitabevi Yayınları, 2011.

S. SARAÇOĞLU, **Temel Kimya,** İstanbul: Çağlayan Kitabevi, 1983.

T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, Ortaöğretim, **Fen Lisesi Kimya Dersi 11. Sınıf Öğretim Proğramı,** Ankara: 2018.

T. D. Kurumu, **Yazım Kılavuzu,** Ankara: Türk Dil Kurumu Yayınları, 2012.

Z. TEZ, **Kimya Tarihi,** Ankara: Nobel Yayın Dağıtım, 2000.

KAREKOD KAYNAKÇA

Kapak: http://kitap.eba.gov.tr/KodSor.php?KOD=6901

1.ünite: http://kitap.eba.gov.tr/KodSor.php?KOD=6902

2.ünite: http://kitap.eba.gov.tr/KodSor.php?KOD=6903

3.ünite: http://kitap.eba.gov.tr/KodSor.php?KOD=6904

4.ünite: http://kitap.eba.gov.tr/KodSor.php?KOD=6905

5.ünite: http://kitap.eba.gov.tr/KodSor.php?KOD=6906

6.ünite: http://kitap.eba.gov.tr/KodSor.php?KOD=6907

GÖRSEL KAYNAKÇA

Görsel Adı	Sayfa No	Görselin ID No
1. Ünite Kapağı	13	dreamstime_l_26553244 dreamstime_m_31304839
Görsel 1.1	14	shutterstock_290382053
Görsel 1.2	15	dreamstime_1024070x
Görsel 1.6	16	dreamstime_m_83868984
Görsel 1.8	18	dreamstime_59013305
Bilgi Kutusu	35	shutterstock_155936723
Görsel 1.27	52	dreamstime_m_67434887
Tablo 1.9	53	dreamstime_m_37855044
Görsel 1.31	70	dreamstime_m_36641401
Görsel 1.34	76	dreamstime_l_96098125
2. Ünite Kapağı	93	dreamstime_l_28370747
Görsel 2.1	94	dreamstime_46426595
Görsel 2.2	94	dreamstime_82392835
Görsel 2.3	94	dreamstime_81938490
Görsel 2.4	95	dreamstime_l_60341910
Görsel 2.5	95	dreamstime_l_84077290
Görsel 2.6	95	dreamstime_l_67163500
Görsel 2.7	98	dreamstime_l_7999655
Görsel 2.9	98	dreamstime_l_13953203
Görsel 2.10	99	dreamstime_l_93751633
Görsel 2.14	101	dreamstime_m_19446652
Görsel 2.16	103	http://www.eba.gov.tr 19/10/17 15:15
Görsel 2.19	118	dreamstime_l_21584849
Görsel 2.21	120	dreamstime_l_39283630
Görsel 2.22	121	dreamstime_l_19910689
Görsel 2.29	142	dreamstime_l_45626250
Görsel 2.31	144	30650106_xl
Görsel 2.32	145	dreamstime_33238013
Görsel 2.34	147	dreamstime_l_77425413
Görsel 2.35	147	dreamstime_l_82754090
3. Ünite Kapağı	165	dreamstime_l_43772799
Görsel 3.4	169	dreamstime_l_15875607
Etkinlik 3.2	196	shutterstock_12093343
Görsel 3.6	197	shutterstock_90418186

Görsel Adı	Sayfa No	Görselin ID No
Görsel 3.7	197	dreamstime_l_35485797
Görsel 3.8	200	dreamstime_60319291
Görsel 3.9	201	dreamstime_22946773
Görsel 3.10	201	dreamstime_36770523 dreamstime_94039714
Görsel 3.11	202	dreamstime_83393785
Görsel 3.18	218	shutterstock_320663282
Etkinlik 3.4	220	shutterstock_68992609
4. Ünite Kapağı	235	dreamstime_l_81644572
Görsel 4.1	236	dreamstime_l_21623068
Görsel 4.2	236	dreamstime_90768863
Görsel 4.4	238	dreamstime_93920643
Görsel 4.5	239	dreamstime_93920643
Etkinlik 4.3	249	shutterstock_727042243
Görsel 4.6	253	dreamstime_84975582
Görsel 4.7	254	http://www.eba.gov.tr 10/01/18 12:07
5. Ünite Kapağı	267	shutterstock_519048922
Görsel 5.1	268	shutterstock_383191675
Görsel 5.3	274	shutterstock_717262750
Etkinlik 5.2	279	shutterstock_300753791
Etkinlik 5.3	290	shutterstock_369648338
Görsel 5.5	297	http://tip.cbu.edu.tr/ db_images/site_101/ web/oktay%20sinanoğ- lu%20anma%20web.jpg 03/01/18 16:34
6. Ünite Kapağı	309	shutterstock_654920956
Görsel 6.1	310	shutterstock_759281920
Görsel 6.4	314	dreamstime_m_75648482
Etkinlik 6.1	338	shutterstock_721615282
Görsel 6.13	367	shutterstock_171591929
Görsel 6.14	374	shutterstock_111208967
Görsel 6.15	383	shutterstock_79246693
Görsel 6.16	383	shutterstock_528407218.tif

Görsel Tasarımcılar Tarafından Hazırlananlar	
1. Ünite	
Görsel 1.3	Görsel 1.19
Görsel 1.4	Görsel 1.20
Görsel 1.5	Görsel 1.21
Görsel 1.7	Görsel 1.22
Görsel 1.9	Görsel 1.23
Görsel 1.10	Görsel 1.24
Görsel 1.11	Görsel 1.25
Görsel 1.12	Görsel 1.26
Görsel 1.13	Görsel 1.28
Görsel 1.14	Görsel 1.29
Görsel 1.15	Görsel 1.30
Görsel 1.16	Görsel 1.32
Görsel 1.18	Görsel 1.33
Ölçme değerlendirmedeki çizimler	
2. Ünite	
Görsel 2.8	Etkinlik 2.1
Görsel 2.11	Görsel 2.24
Görsel 2.12	Görsel 2.25
Görsel 2.13	Görsel 2.26
Görsel 2.15	Görsel 2.27
Görsel 2.17	Görsel 2.28
Görsel 2.18	Görsel 2.30
Görsel 2.20	Görsel 2.33
Görsel 2.23	
Ölçme değerlendirmedeki çizimler	
3. Ünite	
Görsel 3.1	Görsel 3.14
Görsel 3.2	Görsel 3.15
Görsel 3.3	Görsel 3.16
Görsel 3.5	Etkinlik 3.3
Görsel 3.12	Görsel 3.17
Görsel 3.13	
Ölçme değerlendirmedeki çizimler	
4.Ünite	
Görsel 4.2	Etkinlik 4.1
Görsel 4.3	Görsel 4.8
Ölçme değerlendirmedeki çizimler	

5. Ünite	
Etkinlik 5.1	
Görsel 5.2	Görsel 5.4
Etkinlik 5.4	
Ölçme değerlendirmedeki çizimler	
6. Ünite	
Görsel 6.2	Görsel 6.9
Görsel 6.3	Görsel 6.10
Görsel 6.5	Görsel 6.11
Görsel 6.6	Görsel 6.12
Görsel 6.7	Etkinlik 6.5
Görsel 6.8	
Ölçme değerlendirmedeki çizimler	
Bu kitapta yer alan dreamstime ve shutterstock'a ait tüm görseller 10/10/2017 - 08/02/2018 tarihleri arasında indirilmiştir. Diğer bütün görseller görsel tasarım uzmanları tarafından hazırlanmıştır.	